Учредитель — ООО "Инфохолодтех"

СПОНСОРЫ:
Министерство науки и технологий Российской Федерации
Международная академия холода
ОАО «Росмясомолторг»

Главный редактор
Л.Д.Акимова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Е.М.Агарев
А.М.Архаров
А.В.Бараненко
Г.А.Белозеров
О.В.Большаков
В.М.Бродянский
А.В.Быков
В.А.Выгодин
В.Б.Галежа
Л.В.Галимова
А.А.Гоголин
А.К.Грезин
А.П.Еркин
И.М.Калинин
А.А.Мифтахов
В.В.Оносовский
И.И.Орехов
И.А.Рогов
В.В.Румянцев
И.К.Савицкий
В.И.Смыслов
А.А.Соловьянов
И.Я.Сухомлинов
И.Г.Хисамеев
О.Б.Цветков
И.Г.Чумак
В.М.Шавра
А.В.Шаманов

Дизайн и компьютерная верстка
Т.А.Миансаровой
Компьютерный набор *Л.И.Лапиной*
Корректор *Т.Т.Талдыкина*

Ответственность за достоверность рекламы несут рекламодатели. Рукописи не возвращаются.

Адрес редакции:
107807, ГСП-6, Москва, Б-78,
ул. Садовая-Спасская, д. 18
Телефоны: (095) 207-53-14, 207-23-96
Тел./факс: (095) 975-36-38

E-mail: holodtex@arstel.ru

Подписано в печать 20.03.2000.
Формат 60x88 1/8. Офсетная печать.
Усл.-печ. л. 5,0.

Отпечатано в ООО «РОСТРА-ДЕЙ»

© Холодильная техника, 2000

В НОМЕРЕ:

XX Международный конгресс по холоду Холод на пороге третьего тысячелетия
Дж.Т.МакМаллэн. **Холодильная техника и окружающая среда. Проблемы и стратегия будущего** — 1

Международная научно-техническая конференция Аммиак: свойства и применение. Перспективы XXI века — 6

Цветков О.Б. **Аммиак – экологически безопасный холодильный агент** — 8

Парфенов Л.Н. **Холодильные установки: классификация, технический надзор, сертификация оборудования** — 10

Железный В.П., Железный П.В., Лысенко О.В., Овчаренко В.С. **Эколого-термоэкономический анализ перспектив применения аммиака в холодильном оборудовании** — 12

АЛЬФА ЛАВАЛЬ
Сорокин С.С. **Пластинчатые теплообменники «Альфа Лаваль»** — 17

ХИМХОЛОДСЕРВИС
Товарас Н.В., Ельчинов В.П., Шуяков А.Л. **Новые маслоохладители МОХ: сочетание эффективности и технологичности** — 19

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ **Владимира Викторовича Румянцева** — 23

ДАНФОСС **Соленоидные вентили EVR** — 24

СЕМИНАР-ПРЕЗЕНТАЦИЯ ГРУППЫ КОМПАНИЙ «ИНРОСТ» **ИНРОСТ в 2000 году: системы центрального кондиционирования** — 26

SHK MOSCOW 2000 **4-я Международная специализированная выставка «Сантехника. Отопление. Кондиционирование-2000»** — 28

ЭЙРКУЛ **Автономный прибор для регистрации температуры** — 29

В МЕЖДУНАРОДНОМ ИНСТИТУТЕ ХОЛОДА **Из Бюллетеня МИХ** — 31

Конференции МИХ и со спонсорским участием МИХ в 2000 году — 33

ПРОИЗВОДСТВЕННО-КОММЕРЧЕСКИЙ ЦЕНТР «СПЕЦТЕХСБЫТ» **Изолирующие химические костюмы КИХ-4 и КИХ-5** — 34

IN ISSUE:

XX International congress of Refrigeration Refrigeration on the threshold of third Millenium
John T. McMullan **Refrigeration and the environment. Issues and strategies for the future** — 1

International scientific and technical conference Ammonia: properties and appllications. Perspectives of XXI century — 6

Tsvetkov O.B. **Ammonia – ecologically safe refrigerant** — 8

Parfenov L.N. **Refrigerating installations: classification, technical supervision, certification of equipment** — 10

Zhelezny V.P., Zhelezny P.V., Lysenko O.V., Ovcharenko V.S. **Ecological, thermal and economical analysis of the perspective of ammonia application in refrigerating technique** — 12

ALFA LAVAL
Sorokin S.S **Plate heat exchangers «Alfa Laval»** — 17

KHIMKHOLODSERVICE
Tovaras N.V. , Elchinov V.P., Shuyakov A.L. **New oil coolers MOX: combination of efficiency and technological effectiveness** — 19

CONGRATULATIONS ON JUBILEE **Vladimir Victorovich Rumyantsev** — 23

DANFOSS **Solenoid valves EVR** — 24

SEMINAR-PRESENTATION OF THE GROUP OF COMPANIES INROST **INROST in the year 2000: systems of central air conditioning** — 26

SHK MOSCOW 2000 **4th International specialized exhibition «Sanitary engineering. Reating. Air conditioning-2000»** — 28

AIRCOOL **Autonomous instrument for temperature registration** — 29

AT INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION **From Bulletin of IIR** — 31

Conferences of IIR and with sponsor participation of IIR in 2000 — 33

PRODUCTION COMMERSIAL CENTRE «SPETSTEKHSBYT» **Insulating chemical suits KIH-4 and KIH-5** — 34

Информационно-издательский центр "Холодильная техника" принимает заказы на изготовление рекламных листовок, проспектов и буклетов. Цены договорные.

Справки по тел.:
(095) 207-23-96, 207-53-14,
тел./факсу (095) 975-36-38.

В редакции можно приобрести комплекты или отдельные номера журналов

"Холодильная техника"
за 1993–1999 г.

"Вестник Международной академии холода"
за 1998–1999 г

"Производство и реализация мороженого и быстрозамороженных продуктов"
за 1999 г.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ
Издается с января 1912 года
Выходил под названиями:
1912 – 1917 – "ХОЛОДИЛЬНОЕ ДЕЛО"
1923 – 1924 – "Холодильное и бовинское дело"
1925 – 1936 – "ХОЛОДИЛЬНОЕ ДЕЛО"
1937 – 1940 – "Холодильная промышленность"
с 1941 – "ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА"
МОСКВА

ХТ Холодильная техника

3 • 2000 **Kholodilnaya Tekhnika**

XX МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ПО ХОЛОДУ

Холод на пороге третьего тысячелетия

Помещая статью Дж.Т.МакМаллэна, редакция завершает публикацию материалов по докладам, сделанным на пленарных заседаниях XX Международного конгресса по холоду. Надеемся, что, несмотря на сокращенное изложение, эти материалы дают представление о роли искусственного холода в решении глобальных проблем, которые будут стоять перед человечеством в третьем тысячелетии.

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА. ПРОБЛЕМЫ И СТРАТЕГИЯ БУДУЩЕГО

ДЖ.Т.МАКМАЛЛЭН *Центр энергетических и технологических исследований. Ольстерский университет (Великобритания)*

Разрушение озонового слоя и глобальное потепление (точнее – изменение климата) – это две главные проблемы, оказывающие серьезное влияние на будущее развитие производств, связанных с холодильной техникой.

РАЗРУШЕНИЕ ОЗОНОВОГО СЛОЯ

Холодильная индустрия подвергается обвинениям в разрушении озонового слоя в связи с выделением искусственных химических веществ в атмосферу. Началось с того, что в 1974 г. Rowland и Molina предположили, что выделение в атмосферу искусственно созданных хлорированных соединений может повредить стратосферный озоновый слой. В результате была создана широкая программа сохранения озона стратосферы, основанная на этой гипотезе. В наибольшей степени разрушение озонового слоя наблюдалось в весеннее время над Антарктикой.

В дальнейшем было создано несколько межправительственных договоров, начиная с Венского соглашения о сохранении озонового слоя (1985) и Монреальского протокола о веществах, разрушающих озоновый слой (1987). За ними последовали соглашения, принятые в Лондоне, Копенгагене, Вене и Монреале.

Монреальский протокол уже ратифицирован большинством правительств. В настоящее время выпуск и производство галоидопроизводных и фторуглеводородов уже прекратились в индустриально развитых странах (за исключением «существенно важных применений» и использования «озоноразрушающих соединений как исходного сырья для другой химической продукции»). Полностью производство озоноразрушающих веществ должно закончиться к 2006 г., однако есть основания считать, что это станет возможно лишь к 2010 г. Продолжается экспорт продукции в развивающиеся страны, в которых используются фторуглеводороды. В развитых странах действует черный рынок фторуглеводородов, что неизбежно затягивает осуществление соглашений о неприменении озоноразрушающих веществ. В Монреале (UNEP, 1999) участники протокола приняли предложение о системе лицензий, контролирующих торговлю озоноразрушающими веществами. Что касается соединений типа HCFC, то официальный срок их полного запрещения датируется 2030 г. для индустриально развитых стран и 2040 г. для развивающихся. В Монреале (UNEP, 1999) Евросоюз настаивал на запрещении соединений типа HCFC к 2015 г., но это встретило возражение со стороны представителей США, Канады и некоторых развивающихся стран. Предложение Евросоюза базировалось на убеждении, что многие соединения типа HCFC действительно оказывают озоноразрушающее действие, а будущее – за их безвредными заменителями. Тем временем различные страны приняли собственные стратегии: в Германии, например, HCFC-22 будет использоваться в новых установках и после 2000 г. Избыточное производство CFC и затягивание сроков их полного запрещения вносят изменения в прогнозы, относящиеся к разрушению озонового слоя. Первоначальные исследования показывают, что при введении некоторых ограничений озоновый слой может восстановиться к 2045 г., однако более поздние расчеты могут внести свои коррективы.

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Вторая главная проблема, относящаяся к защите окружающей среды, – изменение климата в результате глобального потепле-

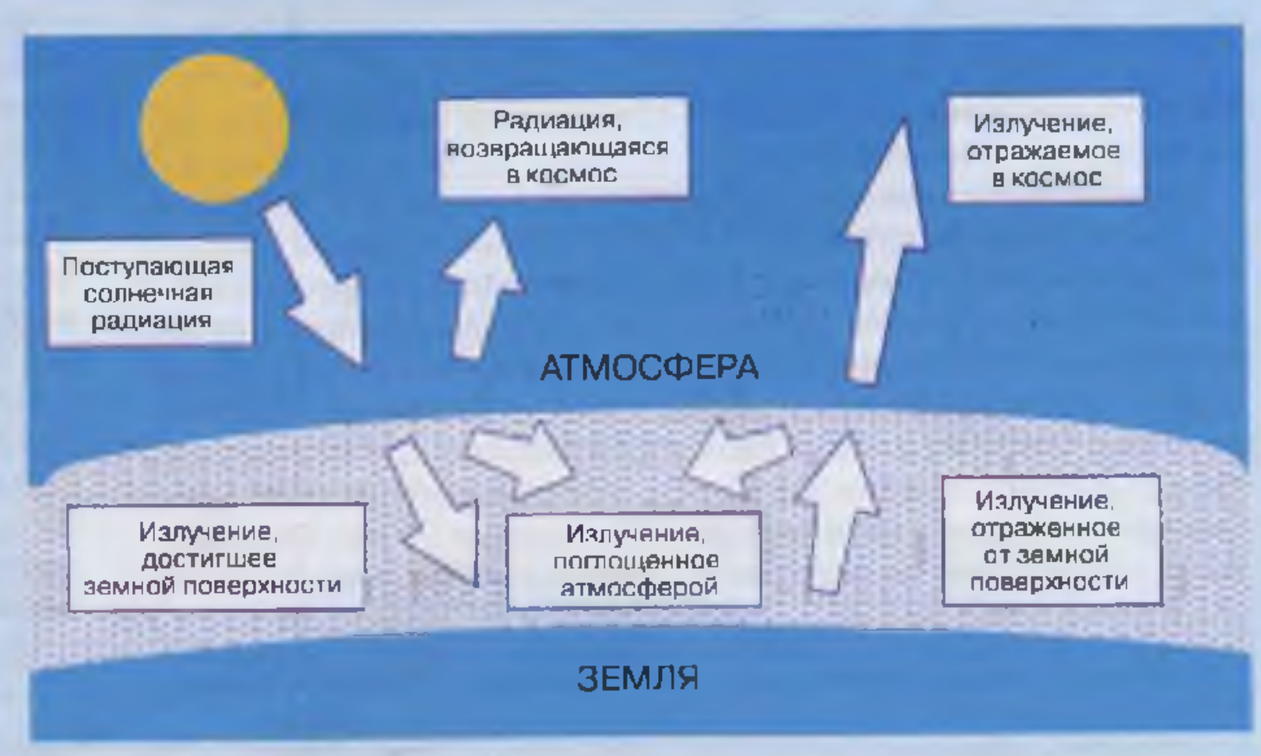


Рис. 1. Происхождение глобального потепления

Библиотека
им. Ольги Гаврилюк

ния. Этот вопрос стал главным, когда возникла реакция на информацию о разрушении озонового слоя. Сейчас вопросы глобального потепления и разрушения озонового слоя объединяют в общую проблему. Глобальное потепление возникает вследствие «парникового эффекта» (рис. 1). Распределение частот в солнечном излучении близко к излучению абсолютно черного тела при температуре около 5800 К. Спектр частот находится в интервале от 10^{-9} м до сотен метров, максимум лежит в области около $500 \cdot 10^{-9}$ м, в интервале видимой части спектра. Около 30 % солнечной радиации (1360 Вт/м^2), прошедшей через атмосферу, отражается в космическое пространство, а остальная часть достигает земной поверхности. Она нагревает Землю, которую в данном случае можно рассматривать как абсолютно черное тело, испускающее инфракрасное излучение, которое не может пройти через атмосферу, так как поглощается парами воды, диоксидом углерода и другими его поглотителями. В результате тепловой поток попадает в ловушку и температура на поверхности Земли устанавливается более высокой, чем она была бы без изолирующего слоя атмосферы.

Этот эффект представляет собой положительное явление, поскольку создает возможность существования жизни во всех ее проявлениях. Однако в результате жизнедеятельности населения планеты возрастает концентрация CO_2 и других парниковых газов в атмосфере, что увеличивает количество поглощенной инфракрасной радиации и неизбежно ведет к повышению температуры самой атмосферы и последующему долговременному изменению климата.

Необходимо отметить, что начало изучения глобального потепления было связано с созданием компьютерной модели атмосферной циркуляции, а не с результатами наблюдений или экспериментов. Расчеты этих моделей были крайне сложны и подвержены тем же ограничениям, что и компьютерное моделирование в любой другой области. Точность расчетов соответствует точности заложенных в них данных, которые отражают реальное изменение атмосферы. Даже самый ярый сторонник компьютерных моделей не может не согласиться с тем, что их достоверность ограниченна. Тем не менее прогнозирование, базирующееся на математических моделях, постепенно начинает приниматься во внимание и работы по его усовершенствованию постоянно ведутся. Заключения об очевидности глобального потепления и о других необычных физических явлениях убедительно показывают, что климатические изменения действительно наступают. На практике физические наблюдения дают весьма сомнительные и противоречивые результаты. Невозможно установить, отчего происходят даже такие явления, как плавление льдов или ураганы. Неясно, является ли это следствием антропогенных изменений климата или частью естественно обусловленных циклов колебаний.

Существуют разногласия между различными подходами к измерению глобальной температуры. Непосредственные измерения температуры поверхности Земли показывают, что ее глобальная температура возрастает. Однако данные, полученные за последние 20 лет со спутников, этого не подтверждают, даже с учетом поправок на вариации орбиты (без учета влияния Эль-Ниньо* в 1998 г.). Температуру поверхности Земли определяют на многочисленных станциях, расположенных в разных частях света, и дополняют данными по измерению температур воды у поверхности океана.

Существует критическое отношение к точности этих данных по разным причинам – таким, как тепловое воздействие островов, неоднородность расположения измерительных станций, локальность температур на измеряемом пространстве и то, что использовались показания температур у поверхности океана, чтобы восполнить отсутствующие данные.

Спутниковые измерения основаны на использовании ультразвука, чтобы можно было записывать микроволновое (длина волны от 1 мм до 1 м) излучение атмосферного кислорода и преобразовывать его в вертикальный профиль температур атмосферы. Поверхность Земли охватывается достаточно полно, поскольку спутники пересекают ее за короткий период времени. Отдельные показатели уровня температур могут быть составлены как для тропосферы, так и атмосферы в целом и достаточно достоверно показывают небольшое охлаждение атмосферы за последние 20 лет. Радиозонды, установленные на аэростатах, дают тот же результат. Спутниковые измерения показывают, кроме того, что температурная структура атмосферы намного сложнее, чем представляется на моделях.

Имеются другие теории, утверждающие, что температурные колебания связаны не с парниковым эффектом, а с вариациями числа солнечных пятен и возрастанием солнечной активности. При всей его очевидности положение о том, что повышение концентрации примесей служит причиной глобального потепления, подвергается сомнению в связи с выборочным использованием данных. Соглашаясь, что концентрация диоксида углерода в атмосфере и ее температура возрастают одновременно, трудно определить, что является главной причиной.

Сложность заключается еще и в том, что приходится предсказывать на достаточно длительную перспективу поведение очень сложной, хаотической и нелинейной системы, основываясь на кратковременных зависимостях.

Действительно, многие из тех, кто предсказывали глобальное потепление, предрекали ранее на основе тех же данных глобальное охлаждение и возвращение ледникового периода*.

Несмотря на отсутствие единого мнения на все эти проблемы, в обществе существует убеждение о необходимости снижения выхода в атмосферу парниковых газов. Это касается не только диоксида углерода, но и метана и хладагентов, что сказывается также на индустрии холода. Акция была начата «зеленым» движением, закрепившим убеждение, что риск глобального потепления настолько велик, что меры необходимо принимать немедленно.

Двадцать лет назад предсказывалось глобальное похолодание. В течение времени, прошедшего с тех пор, ни один из ожидаемых катастрофических эффектов не наблюдался, несмотря на возрастающую эмиссию парниковых газов. Может быть, пришло время прекратить истерику и разобраться в ситуации, прежде чем предпринимать какие-либо неосмотрительные действия.

Правительства разных стран реагируют на угрозу глобального потепления, считая ее реальной, и ставят задачу снижения выделения парниковых газов. Межправительственная группа по изменению климата при Организации Объединенных Наций (IPCC), созданная в 1988 г., организовала серию совещаний и конференций, посвященных глобальному потеплению: в Рио-де-Жанейро, Берлине, Киото и Буэнос-Айресе. Их целью было принятие решения о снижении выделения парниковых газов до уровня 1990 г. к установленной дате в 2000 г. На практике был достигнут незначительный прогресс; только Германия и Великобритания действительно снизили эмиссию CO_2 в связи с сокращением использования угля. Во всем остальном мире эмиссия CO_2 продолжала возрастать.

Следует подчеркнуть,что независимо от того, грозит планете глобальное потепление или нет, каждый из нас должен стремиться снижать количество выделяемых в окружающую среду загрязнений, сохранять ресурсы и способствовать поддержанию требований экологии в возможно лучших условиях. Не нужно периодических припадков истерики по поводу охраны окружающей среды,чтобы направить нас на правильный путь. Мы должны делать это для наших потомков.

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АТМОСФЕРА

Теперь хорошо известны меры, принимаемые для сохранения озонового слоя. Постепенно соединения типа CFC должны быть изъяты из применения, за ними должны последовать соединения типа HCFC. Ведется значительная работа, направленная на замену этих хладагентов другими, отвечающими озоносберегающим требованиям, и на преодоление смежных задач, включающих ретрофит. Проблемы возникают также в связи с изменениями КПД и производительности, потерей температурного уровня, трудностями с маслами и их совместимостью с хладагентами. Часть из них преодолена, но многие еще остались. Нелегальная торговля CFC может быть прекращена при решении этих проблем. Возможный альтернативный выбор хладагентов представлен на рис. 2. Некоторые варианты замены CFC и HCFC приведены в табл. 1, включающей как смеси хладагентов, так и природные вещества. Потенциальные альтернативные рабочие вещества включают три вида углеводоро-

Эль-Ниньо – явление временного потепления воды в обширном районе восточной части экваториальной зоны Тихого океана, вызывающее существенные изменения температуры атмосферы. (Прим. перев.)

Те читатели, которые хотят разобраться в этом запутанном вопросе, могут использовать книгу В.В.Клименко и др. «Энергия, природа и климат». – Изд. МЭИ: М., 1997. (Прим. перев.)

дов (два фторированных классов HFC, PFC и один, не содержащий фтора, HC), а также диоксид углерода CO_2, аммиак NH_3 и воздух. Соединения типа PFC едва ли смогут играть существенную роль, поскольку имеют очень высокий потенциал глобального потепления и длительный срок существования в атмосфере. Хладагенты типа HFC также включены в Киотское соглашение, как подлежащие выведению из употребления.

Из табл.1 видно, что единственной заменой CFC-12 явился свободный от хлора хладагент HFC-134a, также упомянутый в Киотском соглашении. Однако после нескольких испытаний он был включен в число запрещенных хладагентов. Эта серьезная проблема остается, поскольку замена CFC-12 на HFC-134a не решает задачи ретрофита.

Не удалось найти однокомпонентного хладагента для замены HCFC-22 и азеотропной смеси R505, но были предложены смеси, которые могут подойти для многих случаев. Очевидно, что коэффициент совершенства – COP* (coefficient of performance) при использовании синтетических альтернативных хладагентов может быть ниже, чем у применяемых прежде рабочих веществ, однако коэффициенты теплопередачи часто оказываются несколько выше. Таким образом, здесь наблюдается взаимосвязь, результаты которой сказываются на отрасли в целом.

Охлаждение и кондиционирование воздуха в настоящее время требуют в сумме около 10% производимой энергии, поэтому даже небольшое повышение эффективности этого оборудования дает ощутимый глобальный эффект.

Несмотря на то что потенциал глобального потепления у синтетических альтернативных хладагентов меньше, чем у CFC-12, он все же остается достаточно высокими (см. табл. 1). Таким образом, с точки зрения глобального потепления все представленные вещества столь же опасны и должны подвергнуться запрету. Это может быть серьезной причиной для заключения, что фторуглеводороды должны рассматриваться как виновники 10,2%** эффекта общего нагрева планеты от всех парниковых газов, произошедшего в 1992 г.

Однако следует иметь в виду общий индикатор тотального потепления TEWI (Total Equivalent Warming Impact), который оценивает не только перечисленные вещества, но и диоксид углерода, выделяемый в общем процессе производства. Применительно к компрессионным холодильным установкам очевидно, что нужно учитывать также топливо, сожженное для производства электроэнергии или непосредственно для привода компрессоров. Этот эффект будет несколько меньше для США и Норвегии, где больше доля электроэнергии, получаемой на гидроэлектростанциях, и соответственно меньше выделение CO_2 на 1 кВт·ч производимой электроэнергии.

Сравнение идеализированных систем, работающих на R134a и CO_2, приведены в табл. 2. Ради простоты можно принять два условных предположения:

первое – КПД установок, работающих на HFC-134a и на CO_2, один и тот же, и каждая из них потребляет 600 кВт·ч;

второе – они имеют одинаковые заправки (150 г) и утечки (2% в год). Производство 1 кВт·ч электроэнергии ведет к выделению 0,65 кг CO_2. Таким образом, обе установки косвенно требуют 390 кг/ч CO_2. Поскольку GWP (потенциал глобального потепления) у HFC-134a в 1300 раз больше, чем у CO_2, установка, работающая на нем, будет иметь вследствие утечек воздействие, эквивалентное 3,9 кг/ CO_2, в то время, как установка, работающая

**COP для холодильных машин соответствует холодильному коэффициенту, а для тепловых насосов – отопительному коэффициенту. (Прим. перев.).*

***Такая точность едва ли оправдана при весьма неопределенных подсчетах влияния парниковых газов. (Прим. перев.).*

Рис. 2. Альтернативные решения при выборе хладагентов

Таблица 1

Примерные варианты замены CFC и HCFC на другие рабочие вещества

Хладагент	Потенциал разрушения озона, R11=1	Потенциал глобального потепления, CO_2=1	Ретрофит (а) или полная замена (б)
Замена CFC-11			
CFC-11	1,0	3800	
HCFC-123	0,020	90	а
HCFC-141b	0,110	630	б
HFC-245fa	0	900	б
n-пентан	0	0	а
Замена CFC-114			
CFC-114	0,8	9300	
HCFC-124	0,022	480	а
HFC-134a	0	1300	б
R600	0	0	а
Замена CFC-12			
CFC-12	1	8100	
HFC-134a	0	1300	б
R401A R22/152a/124(53/13/34)	0,037	1100	а
R409A R22/124/142b(60/25/15)	0,048	1400	а
Пропан-этан R290/170(43/57)	0	3	а
Замена HCFC-22			
HCFC-22	0,055	1700	
R407C R32/125/134a(23/25/52)	0	1600	а
R410A R32/125	0	1900	б
R23/32/134a	0	1600	б
Пропан-этан R290/170(95/5)	0	3	а
Замена R502			
R502 CFC115/HCFC22(48.8/51.2)		5500	
R404a R125/143a/134a(44/52/4)	0	3700	а
R507 R125/143a(50/50)	0	3800	а
R32/125/143a(10/45/45)	0	3500	а
Пропан-этан R290/170(95/5)	0	3	а
Природные хладагенты			
Воздух	0	0	
Вода	0	?	
Аммиак	0	0	
Диоксид углерода	0	1	

Таблица 2

Сравнение идеализированных R134a и CO_2 систем

Хладагент	Единица измерения	HFC-134a (малые утечки)	CO_2 (высокая эффективность)	HFC-134a (большие утечки)	CO_2 (низкая эффективность)
Величина заправки	кг	0,15	0,15	0,15	0,15
Величина утечки	%/год	2	2	20	2
Величина утечки	кг/год	0,003	0,003	0,03	0,003
Утечки парниковых газов	Эквив.CO_2, кг/год	3,9	0,003	39	0,003
Расход электроэнергии	кВт • ч/год	600	600	600	660
Условное топливо (единица по стандарту США)					
Косвенное выделение CO_2 в процессе производства электроэнергии	кг/год	390	390	390	429
TEWI	Эквив.CO_2, кг/год	393,9	390.003	429	429,003
Производство электроэнергии на гидроэлектростанциях (например, в Норвегии)					
Косвенное выделение CO_2 в процессе производства электроэнергии	кг/год	0	0	0	0
TEWI	Эквив.CO_2, кг/год	3,9	0,003	39	0,003

на CO_2, непосредственно выделяет только 0,003 кг/ч. Обе системы выделяют 390 кг/ч CO_2, что связано с сжиганием топлива, а дополнительно от использования HFC-134a будет выделено только 3,9 кг/ч CO_2, что меньше чем 1% от общего выделения CO_2.

Ситуация, однако, меняется, если утечки хладагента достигают 20% в год, что возможно в некоторых открытых компрессорах. В этом случае часть "отепляющих газов", относящаяся к хладагентам, возрастает до 9% от общих выделений и уже не может игнорироваться. Подобным же образом, если эффективность установки, работающей на CO_2, на 10% ниже, чем у работающей на HFC-134a, то она становится худшим генератором "отепляющего" газа даже по сравнению с другими системами, имеющими большие утечки*.

Определяющими в выделении холодильными установками и системами кондиционирования воздуха парниковых газов являются не утечки хладагентов, а процессы горения топлива для производства электроэнергии, потребляемой их компрессорами. То же относится и к абсорбционным установкам, для нагрева генератора которых сжигается топливо.

Таким образом, главная задача состоит не в выборе хладагента, а в усовершенствовании системы.

ВЫБОР ХЛАДАГЕНТА

Если рассматривать возможности замены одних хладагентов на другие, то следует начать с того, что для HCFC-22 и R502 нет однокомпонентных заменителей. Такая замена возможна для CFC-11, CFC-12 и CFC-114, но при этом возникают вопросы, связанные с их стоимостью и пригодностью. Углеводороды и их смеси годятся во всех случаях, а циклы на воздухе и CO_2 активно разрабатываются. Применение аммиачных и водоаммиачных систем тоже вновь активно рассматривается.

Известны проблемы смазки и теплопередачи для однокомпонентных рабочих веществ, примером может служить HFC-134a. Однако существуют проблемы, связанные с Киотским соглашением.

С применением углеводородов в холодильной индустрии проблем не возникает. Углеводороды – хорошие хладагенты, удобные в эксплуатации и совместимые с минеральными маслами, они с успехом могут заменить соединения типа CFC. Главная проблема при их использовании связана с огнеопасностью. Возникает противоречие между позициями разных стран в этой области, и нет особых надежд на введение международного стандарта в ближайшем будущем.

Страховые компании (в частности, в США) возражают против использования пропана или бутана в холодильных установках, хотя соглашаются с существованием гораздо более опасных баллонов с этими газами, предназначенных для отопления или приготовления пищи. Это приводит к нелогичным запретам. Например, транспорт не может быть использован для перевозки установок, работающих на углеводородном хладагенте, но на нем разрешено перевозить 50 кг-е баллоны с бутаном для отопления.

Аммиачные компрессионные и абсорбционные установки хорошо известны, и водоаммиачный ресорбционный цикл обещает положительные результаты при высокотемпературном применении.

Другие направления развития включают возрождение воздушных циклов, в частности сверхкритических циклов на CO_2. В этой области достигнуто значительное продвижение и имеются возможности для практического применения. Циклы на CO_2 представляют интерес, особенно своей высокотемпературной частью, связанной с конденсацией.

Заслуживает внимания также термоэлектрическое и акустическое охлаждение. Первое из них занимает определенную нишу на рынке, но высокая стоимость и низкий КПД пока сдерживают его распространение.

Акустическое охлаждение находится еще на ранней стадии развития. Установки холодопроизводительностью от 100 Вт до 10 кВт, работающие по этому принципу, разрабатываются, но потребуется еще много усилий, чтобы они стали коммерчески пригодными.

Использование смесей хладагентов становится оправданным при необходимости сокращения применения HCFC-22. Как уже указывалось ранее, ситуация во многих странах складывается так, что его замена становится первостепенной задачей. При этом возникает проблема выбора между смесями с большими или малыми интервалами температур кипения. В промышленности в большинстве случаев отдается предпочтение смесям с малым интервалом температур, так как при этом удобнее подбирать однокомпонентные хладагенты без значительных изменений. Смеси, содержащие два или более компонента, имеют различные точки кипения при данном давлении, вязкость, значения растворимости масел и т.д.

Получение подходящих смесей является результатом подбора. Например, состав R407C несколько раз изменялся, прежде чем принял вид, приведенный в табл.1.

Другой важный фактор – это взаимодействие компонентов смеси, что затрудняет расчет ее свойств.

Существует несколько следствий этих факторов, оказывающих большое влияние на потребителей холодильной техники. Так, полученный хладагент может оказаться сложнее исходного. Например, бинарная смесь HCFC-22/CFC-11 при соотношении компонентов 40/60 на первый взгляд кажется такой же, как и однокомпонентное вещество, но вместо критической точки при построении диаграммы получается критическая область, и то несколько размытая. Кроме того, изотермы в области влажного пара у бинарной смеси негоризонтальны, и это главное. Температуры фазовых переходов в испарителе и конденсаторе становятся переменными.

Еще одно практическое следствие – утечки из испарителя, компрессора или конденсатора меняют состав смеси, остающейся в системе, в результате чего показатели работы установки изменяются. Степень изменений зависит от температуры и расположения утечек. С течением времени отклонение может стать значительным и невозможно будет вернуть систему к первоначальному состоянию, чтобы компенсировать утечку.

Другое негативное следствие связано с изменением состава рабочего вещества, что обусловлено разной растворимостью его компонентов в смазочном масле. В результате возникает эффект селективного "втягивания" более растворимого компонента в масло, приводящее к изменению термодинамических свойств рабочего вещества. Вследствие этого можно наблюдать изменение состава на 5%.

**Последние рассуждения докладчика неточны. Дело в том, что любая установка, работающая на CO_2, получает его в результате извлечения из дымовых газов – продуктов сгорания топлива, которые выпускаются в атмосферу. Поэтому совершенно безразлично с точки зрения "парникового" эффекта, попадает CO_2 в атмосферу прямо из дымовой трубы электростанции или через холодильную установку, – результат один и тот же. Та же ошибка допущена в табл. 1: влияние утечек CO_2 из установок, работающих на этом газе, равно нулю. Однако это не отразилось на правильности дальнейших выводов. (Прим. перев.).*

Таким образом, специалисты встречаются с новыми условиями как при проектировании, так и эксплуатации холодильных установок. Применение смесей требует лучшего понимания основных принципов, чем при использовании однокомпонентных веществ. Ситуация становится более ясной при работе систем, у которых температура отвода тепла меняется в широких пределах (водоаммиачный ресорбционный цикл, цикл Лоренца, основанный на смесях, кипящих в широком интервале температур, и, наконец, сверхкритический цикл на CO_2). Температурный начальный потенциал и возможность использования его в широком интервале (до 100 °С) позволяют экономить энергию при оптимизации системы и включении нагрева и охлаждения в промышленные процессы, например, в пищевой индустрии. Однако это может быть реализовано только при соответствии холодильной установки всей системе. Требуется более полное понимание всех аспектов процесса в целом, а также повышение требований к уровню образования и практической подготовки персонала.

СЛЕДСТВИЯ ПЕРЕМЕН

Появление хладагентов типов CFC и HCFC привело к революции в холодильной технике и относящихся к ней отраслях. Поскольку применение хорошо изученных хладагентов могло зафиксировать весь температурный интервал, появилась возможность стандартизировать компрессоры, теплообменники и другие компоненты холодильных установок. Это позволило упорядочить все разнообразие видов оборудования, упростить их проектирование, обслуживание, снизить стоимость и распространить холодильную технику по всему миру. Посредством стандартизации стало возможным снабдить конструкторов заранее разработанными удобными картами и таблицами так, что задачи конструирования систем и их приспособления к конкретным условиям существенно упростились. Это, в свою очередь, означало, что монтаж и ввод в эксплуатацию холодильного оборудования может осуществляться менее образованным и опытным персоналом. В результате эти работы часто стали проводиться персоналом, подготовка которого была намного ниже, чем необходимо, что отразилось на результатах работы.

Даже на уровне дипломированных инженеров дело обстоит не так благополучно. Специальных учебных заведений холодильного профиля очень мало. Большинство инженеров затрудняются выполнить эксергетические расчеты холодильных циклов, многие из них не понимают принципов конструирования холодильных машин и определений их размеров. В работе каждой компании 30% составляет коррекция ошибок, которые делают инженеры больших престижных консультативных фирм. Эта ситуация не может быть улучшена без повышения уровня обучения и практической подготовки во всех видах холодильной промышленности.

Уход от хладагентов типов CFC и HCFC открывает новые возможности для холодильной техники и связанных с ней отраслей. Однако это достигается ценой усложнения задач, расширения круга возможностей и повышения ответственности инженеров-конструкторов за выбор правильного решения. Кроме того, усиливается необходимость перехода от "наименьших первоначальных затрат" как цели проектирования к минимизации, основанной на сокращении стоимости всего жизненного цикла установки, включая элементы анализа влияния на окружающую среду и оценку рисков. Многие инженеры-конструкторы несильны и в этих вопросах и не имеют опыта их разрешения, в связи с чем требуется организация экспертизы, способной решать главные проблемы конструирования.

Вследствие малого числа однокомпонентных хладагентов необходимо рассмотреть обширный ряд альтернатив, включая и многие из тех, которые когда-то были отвергнуты. Определены многие потенциально пригодные хладагенты и большое количество перспективных смесей. Cavallini (1996), например, перечислил 46 возможных вариантов. С их принятием возник бы риск возвращения к еще более хаотичным условиям, чем в 1920 г. и последующих годах, вследствие большого разброса свойств хладагентов и меньшей возможности стандартизации в промышленности.

В настоящее время некоторые холодильные системы работают при значительно более высоком давлении (сверхкритические процессы при использовании CO_2) и изменении температур в интервале до 100 К (сверхкритический CO_2 и водоаммиачные системы). Некоторые из таких систем более пригодны для пластинчатых и других современных теплообменников (например, со стекающей пленкой жидкости). Возникают также проблемы безопасности, токсичности и коррозии.

Во многих случаях свойства рабочих веществ неизвестны в обширной области давлений, температур и концентраций, в связи с чем необходимо параллельно с практической проверкой стабильности материалов и систем в течение длительного срока провести большую аналитическую работу.

Существуют также проблемы надежности и страхования новых систем с высокими давлениями или горючими хладагентами. Возникает вопрос о том, что промышленность должна делать дальше. Заменить старое, выходящее из строя оборудование? Однако почти во всем мире установки на HCFC-22 еще пригодны, но с системами на CFC-11, CFC-12, CFC-114 и R502 ситуация более сложна, что видно из табл.1. В течение 10 лет все установки на HCFC, PFC и HFC придут в негодность и уступят место установкам на воздухе, аммиаке, CO_2 и углеводородах.

* * *

Без холодильной техники невозможно прокормить растущее население планеты, поэтому так важно ее развитие. Парниковое воздействие утечек хладагентов типа HFC незначительно по сравнению с тем, что выделяет в атмосферу движущийся поезд. Есть ли серьезные основания отказаться от HFC? Есть ли у общественности причины запрещать применение углеводородных рабочих веществ? Работники холодильной промышленности должны быть тверды в таких вопросах. Если этого не сделать сейчас, то через два десятилетия не останется ни одного легально существующего рабочего вещества.

Юристы и законодатели должны понять сложность этих задач. Переоснащение холодильной отрасли очень важно, но это должно сопровождаться пониманием со стороны общественности и не должно встречать необоснованных запретов, мешающих работе.

Существует две главные движущие силы, воздействующие в направлении замены хладагентов типов CFC и HCFC на более приемлемые альтернативные вещества: признание роли хлоридов в разрушении атмосферного озонового слоя и признание CFC как главного источника хлоридов в стратосфере, что привело к подписанию Монреальского протокола и последующим мерам, направленным на их скорейшую замену озонобезопасными хладагентами.

Внимание, обращенное на глобальное потепление и соответственно на хладагенты, сделало их главными объектами атаки. Однако, понимая необходимость ограничить влияние холодильной техники на разрушение озонового слоя, очень важно рассматривать проблему в перспективе глобального потепления. Необходимо разделить относительно небольшую долю влияния хладагентов на разрушение озонового слоя по сравнению с энергопотреблением растущей холодильной индустрии.

Поскольку любая попытка найти единственное синтетическое рабочее вещество для всех случаев обречена на неудачу, необходимо пересмотреть потенциальные возможности имеющихся смесей и природных хладагентов, включая аммиак, диоксид углерода и углеводороды. Это, в свою очередь, ведет к возобновлению дебатов о системах, производящих одновременно с холодом тепло при переменных температурах. Необходимо также развивать производство различных хладагентов, которые могут быть использованы в широком диапазоне и при достаточно низкой их стоимости.

Негативная сторона заключается в том, что выбор рабочих веществ связан с вариантами их различного применения. Поэтому важно иметь как можно больше информации о смесях. В частности, следует развивать инструментарий для исследования и диагностики, чтобы применять его в различных нагревательных и холодильных системах и получать полную информацию.

Поскольку смеси имеют тенденцию к утечкам с изменением состава или селективной растворимости в маслах, необходимо разрабатывать системы контроля, которые смогут это обнаружить, и либо дать соответствующий диагноз, либо автоматически исправить недостаток.

Необходимы обучение обслуживающего персонала и широкое распространение прогрессивных изменений. В холодильной отрасли нужна адресная система образования на всех уровнях. Вне отрасли также постоянно требуется осознание важности ее проблем и обучение нетехнического персонала, принимающего решения, относящиеся к холодильной технике.

МИХ, национальные организации, промышленность и университеты должны считать это приоритетной задачей.

Перевод д-ра техн. наук, проф. **В.М.БРОДЯНСКОГО**

Международная научно-техническая конференция

Аммиак: свойства и применение.

Перспективы XXI века

Конференция под таким названием была проведена 1 февраля 2000 г. Санкт-Петербургским государственным университетом низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНПТ) совместно с Международной академией холода (МАХ) и Рабочей группой «Свойства хладагентов и теплоносителей» Научного совета РАН.

Участники конференции – представители промышленных предприятий, фирм и акционерных обществ, научно-исследовательских и проектных институтов, вузов и т. д. Среди них – Одесская государственная академия холода (Украина), Институт проблем энергетики Национальной академии наук Белоруссии, Гипрорыбфлот (Санкт-Петербург), Московский государственный университет инженерной экологии, московский завод «Компрессор», Астраханский государственный технический университет, Главное управление Морского Регистра судоходства (Санкт-Петербург), фирма «Альфа Лаваль» (г. Королев, Московская обл.), Омский государственный технический университет, ЗАО «Бюро аналитического приборостроения «ХРОМДЕТ-Экология» (Москва), ОКБ-1 Энергетического института им. Г.М. Кржижановского (Москва), ВНИХИ (Москва), НИИЭМ Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Военно-инженерная космическая академия им. А.Ф. Можайского (Санкт-Петербург), СПбГУНПТ и др.

Участников конференции приветствовал проректор по научной работе СПбГУНПТ академик МАХ *А.А.Малышев*.

Как отметил в своем докладе академик МАХ *О.Б.Цветков* (СПбГУНПТ), идея конференции об аммиаке возникла сразу же после известия о Протоколе Киото в декабре 1997 г., когда в «корзине» регулируемых шести парниковых газов оказались все так называемые озонобезопасные холодильные агенты.

Существующее изменение климата Земли уже столь очевидно, а его последствия столь предсказуемы, что трудно оставаться спокойными и не искать, несмотря на ряд серьезных сомнений, альтернативных решений для сокращения выброса парниковых газов. По мнению многих специалистов, аммиак – один из такого рода альтернативных экологически безопасных хладагентов. Докладчик подробно рассмотрел термодинамические и теплофизические свойства аммиака, напомнив вместе с тем, что аммиак исключительно токсичен, пожаро- и взрывоопасен. Его применение всегда сопровождалось крайне тяжелыми последствиями для людей вследствие аварий трубопроводов, утечек, гидравлических ударов, пожаров и взрывов. Тем не менее аммиак переживает новое рождение в холодильной технике, переходя из сферы промышленного применения в средние и малые холодильные системы, установки морского рефрижераторного флота, в торговое холодильное оборудование супермаркетов, тепловые насосы. Появились новые технические и технологические решения, снижающие аммиакоемкость установок; создано новое поколение смазочных масел, растворимых в аммиаке; в Европе осуществляются активные меры государственного протекционизма с целью прорывного развития аммиачных холодильных производств.

Заместитель главного конструктора московского завода «Компрессор» *М.А.Сильман* рассказал об истории развития выпускаемых заводом холодильных машин и оборудования для морского флота.

Представитель ЗАО «Бюро аналитического приборостроения» («ХРОМДЕТ-ЭКОЛОГИЯ») *Е.Б.Полотнюк* в своем выступлении сообщила о разработке и производстве приборов для контроля загрязненности воздушной среды. Бюро изготовляет портативные и многоканальные стационарные газоанализаторы, газохроматографические фотоионизационные детекторы, газоградуировочные устройства, пластины для тонкослойной хроматографии, на которые получены лицензии Госгортехнадзора РФ и свидетельства о признании Российского речного регистра. Для контроля аммиака выпускается несколько модификаций приборов. Так, многоканальный (до 8 каналов) стационарный газоанализатор аммиака «Эсса» предназначен для измерения и сигнализации в непрерывном режиме превышения трех уровней концентраций аммиака в воздухе (20, 60 и 500 мг/м^3). Концентрация измеряется установленными в контролируемой зоне преобразователями. Газоанализатор «Эсса» может быть использован также для управления вторичными устройствами – исполнительными элементами систем вентиляции, звуковой и световой сигнализации. Фотоионизационный газоанализатор–течеискатель аммиака «Колион-1» измеряет концентрацию аммиака в воздухе рабочей зоны компрессорных цехов, холодильников, заправочных станций, а также служит для поиска утечек в сальниках, фланцевых соединениях, сварных швах холодильного оборудования. Диапазон измерения и сигнализации составляет 5...2000 мг/м^3 , время измерения – не более 3 с. Готовится к выпуску генератор аммиака ГЕА-01 для приготовления смесей аммиака в воздухе, используемых для градуировки и поверки переносных и стационарных газоанализаторов и сигнализаторов аммиака. *(Информация о приборах, выпускаемых ЗАО «Бюро аналитического приборостроения» «ХРОМДЕТ-ЭКОЛОГИЯ», опубликована в журнале «Холодильная техника, № 1–2000).*

Академик МАХ *В.П.Железный* (ОГАХ) выступил с двумя докладами: «Принципы эколого-термоэкономического анализа эффективности холодильного оборудования при переходе на новые озонобезопасные хладагенты» и «Эколого-термоэкономический анализ перспектив применения аммиака в холодильном оборудовании».

В первом докладе на основе концепции эколого-термоэкономического анализа эффективности ис-

пользования энергетических ресурсов в холодильной технике приведены новые эколого-энергетические коэффициенты для расчета полного эквивалента глобального потепления (TEWI), которые отражают антропогенное влияние парниковых газов при эксплуатации холодильных машин и установок на процесс глобального потепления. По-новому осмыслены такие понятия, как энергоэффективность оборудования. Реализация мероприятий, направленных на получение оптимальных значений этих коэффициентов, способствует повышению экологической устойчивости энергетики в целом.

Во втором докладе на основе вышеупомянутой методики дана оценка эффективности и целесообразности использования перспективных хладагентов, альтернативных R22. Оценка проводилась в рамках системного подхода, заключающегося в последовательном усложнении объекта исследования вплоть до уровня холодильной машины. Подобный анализ выполнен для R404A, R407C, R410B, R134a и аммиака. В докладе показано, что с точки зрения данного вида анализа применение аммиака весьма оправданно.

В докладе академика МАХ *И.Г.Чумака* с соавторами (ОГАХ) предложен новый класс синтетических масел для холодильных машин, растворимых в аммиаке. В докладе академиков МАХ *В.П.Онищенко* и *И.Г.Чумака* с сотрудниками (ОГАХ) обобщен опыт использования аммиачного льдогенератора в качестве охладителя воды.

Член-корреспондент МАХ *Е.Т.Петров* (СПбГУНПТ) рассмотрел в своем сообщении вопрос повышения эффективности и безопасности аммиачных холодильных установок. Докладчик подробно остановился на результатах исследовательских и проектных работ, связанных с новыми схемными решениями и методами оптимального управления аммиачными холодильными установками.

И.М.Мазурин (ЭНИН), предоставив результаты сравнительного анализа аммиака и других хладагентов, отметил, что по российскому законодательству экологическая безопасность рассматривается как составная часть санитарно-эпидемиологического благополучия населения страны, причем концепция безопасности должна базироваться на приоритете Конституции России, гражданского и трудового права, а также Закона о правах потребителей. По мнению докладчика, слепое следование требованиям Монреальского протокола может привести к кризису холодильной промышленности Российской Федерации. Аммиак, как энергетически эффективный хладагент, мог бы стать при отсутствии ограничений на токсичность и взрывоопасность альтернативой запрещаемым хладагентам. В условиях существующих на сегодня обязательств России в рамках Монреальского протокола безопасной группой хладагентов остаются углефториды (R116, R218, RC318, R31-10, SF_6 и др.).Однако после ратификации Россией Киотской конвенции эта группа хладагентов может быть запрещена.

Доклад академика МАХ *Л.В.Галимовой* (АГТУ) был посвящен исследованию процессов, происходящих в водоаммиачном абсорбционном блоке, как основной части абсорбционной холодильной машины. Испытания блока проводились по схеме «газового кольца», причем особое внимание было уделено конструкции дефлегматора совмещенного типа, что позволяло получить пар с температурой, близкой к температуре охлаждающей воды. Насадка дефлегматора была выполнена из металлических проволочных элементов. Математическое моделирование процессов в дефлегматоре позволило авторам оптимизировать параметры абсорбционного блока.

Представитель фирмы «Альфа Лаваль Поток» *С.С.Сорокин* рассказал о выпускаемых ею теплообменных аппаратах пластинчатого типа, применяемых в холодильной технике. Отличительные особенности таких аппаратов: высокие коэффициенты теплопередачи, минимальные градиенты между температурами, устойчивость к замерзанию рабочих веществ, к вибрациям и автоколебаниям, малые габаритные размеры, металлоемкость и масса, возможность быстрого их монтажа и демонтажа, ревизии и очистки. Пластины теплообменников изготовляются из специальных сталей и титана. Полусварные пластинчатые аппараты успешно работают на ряде российских мясокомбинатов, пивоваренных заводов и хладокомбинатов. Решением Госгортехнадзора они допущены к применению в аммиачных холодильных установках.

Интерес вызвал доклад *Б.Д.Тимофеева* (Институт проблем энергетики, г. Минск) о работах по замене в холодильной машине с турбокомпрессором типа 10ТХМВ-4000-2 озоноразрушающего хладагента R12 озонобезопасными R134a и R125, а также трехкомпонентными смесями R22/R218/R21, азеотропными – R22/R218 и смесью «Экохол-2»(R142в/RC318). Докладчик подробно рассмотрел преимущества и недостатки использования указанных хладагентов и смесей. В перспективе целесообразно использовать в холодильных машинах на базе турбокомпрессоров такие хладагенты, как R134a, R125, R218, RC318 и др.

В.А.Рыков (СПбГУНПТ) посвятил свое выступление единым неаналитическим уравнениям состояния, учитывающим особенности критической области, в частности для озонобезопасных хладагентов R218, R23 и R134a. Были представлены широкодиапазонные таблицы термодинамических свойств данных веществ, проанализирована возможность разработки новых таблиц свойств аммиака, включая область метастабильного состояния и окрестность критической точки. Дискуссия по докладу подтвердила актуальность данного исследования.

С большим интересом было заслушано сообщение представителя Главного управления Морского Регистра *А.Н.Быкова*, который в заключение призвал специалистов холодильной техники к сотрудничеству с Регистром.

Выступившие в прениях участники конференции признали ее полезность и необходимость подобных встреч в дальнейшем.

* * *

В рамках конференции прошло очередное годичное заседание Рабочей группы «Свойства хладагентов и теплоносителей» Научного совета РАН совместно с секцией «Теоретические основы холодильной и криогенной техники» Международной академии холода. Председатель Рабочей группы и секции МАХ профессор *О.Б.Цветков* сделал сообщение о деятельности организаций в 1999 г. и о планах на 2000 г.

Член-корреспондент МАХ **Ю.А.ЛАПТЕВ,**
ученый секретарь Рабочей группы
«Свойства хладагентов и теплоносителей»
Научного совета РАН

В этом номере журнала публикуются статьи по некоторым из перечисленных докладов.

Аммиак — *экологически безопасный холодильный агент*

Д-р техн. наук, проф.,
академик МАХ **О.Б.ЦВЕТКОВ**

В конце уходящего столетия незамеченной осталась знаменательная дата – 250-летие со дня открытия аммиака. В качестве хладагента аммиак стали применять в 1859 г., когда Ф.Каррэ запатентовал абсорбционную водоаммиачную холодильную машину. В 1872 г. Дэвид Бойл получил патент на конструкцию аммиачного компрессора. Развитие аммиачного компрессоростроения тем не менее более связано с именем Карла Линде. В 1876 г. появился его первый аммиачный компрессор, который проработал в Триесте до 1908 г. К этому периоду аммиак уже широко использовали в технике искусственного холода. Так, из 57 рефрижераторных судов, осуществлявших морские перевозки мяса в Великобританию, 14 использовали воздушные холодильные машины, 27 – углекислотные и 16 – аммиачные.

В России стационарные холодильные машины промышленного назначения начали выпускать заводы Фельзера в Риге и Франца Крулля в Ревеле. Завод Фельзера в 1898 г. освоил производство аммиачных и углекислотных холодильных машин. Завод Крулля с 1904 г. изготовлял абсорбционные холодильные машины, а затем перешел на выпуск аммиачных и углекислотных компрессорных машин. С 1912 г. завод Фельзера прекратил производство холодильного оборудования, а завод Крулля в связи с войной эвакуировали в 1917 г. в Москву. Оборудование сгрузили вблизи завода «Котлоаппарат», где с июня 1920 г. (ныне московский завод «Компрессор») возродился выпуск аммиачных холодильных машин. В конце 1931 г. завод выпустил первый советский аммиачный компрессор ВП-230, разработанный молодыми конструкторами В.П.Барминым и А.А.Гоголиным.

В 30-е годы появился новый класс хладагентов. Их синтезировали из метана, этана и других углеводородов путем замещения атомов водорода фтором, хлором и бромом. Эти соединения, известные под названием фреоны, не имеют запаха, не токсичны, пожаро- и взрывобезопасны. В холодильной технике четко разделились сферы применения фреонов и аммиака. Так, в 50-е годы в мире на долю аммиака приходилось 80 % промышленных установок, 30 % торгового холодильного оборудования, 10 % морского рефрижераторного флота, 15 % холодильных установок в системах кондиционирования воздуха. В 80-е годы аммиак окончательно был вытеснен из морского рефрижераторного флота и заменен на синтетический хладагент R22 (CHClF2).

Открытие «озоновых дыр» над Южным полюсом в 70–80-х годах неожиданно оказалось связанным с производством и расширением применения фреонов далеко за пределами холодильной техники. Принятый в 1987 г. Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой, ограничил производство и применение фреонов, содержащих атомы хлора и брома.

Более серьезные трудности для синтетических хладагентов возникли в связи с обсуждением последствий глобального потепления вначале на Саммите в Рио-де-Жанейро в 1992 г., а затем в Киото в 1997 г. В Киото страны–участницы Саммита 1992 г. приняли Протокол, где к числу «парниковых» газов, ответственных за глобальное потепление, отнесены все без исключения синтетические хладагенты: гидрофторуглеводороды (ГФУ), перфторуглеводороды (ПФУ) и шестифтористая сера. Парадокс в том, что в Протокол Киото попали все так называемые озонобезопасные хладагенты.

На самом деле эта новость не была из разряда неожиданных: об этом говорил еще в 1994 г. на Международной конференции МИХ в Ганновере Г. Лоретцен (Норвегия). Здесь же, в Ганновере, вошел в обиход термин «природные хладагенты» (natural working fluids), к числу которых наряду с углеводородами, диоксидом углерода, водой, воздухом и гелием был отнесен и аммиак.

С термодинамической точки зрения аммиак после воды – наилучший хладагент. Теплообменные аппараты на аммиаке обеспечивают прекрасные значения коэффициентов теплоотдачи, более эффективные энергетические показатели холодильных машин и установок. Аммиак достаточно подробно изучен. Известны широкодиапазонные высоконадежные таблицы термодинамических свойств аммиака. Не углубляясь в историю этого вопроса, отметим лишь один 1978 г., когда были опубликованы таблицы Л. Хаара и Дж. Галлахера [8], А.В.Клецкого [3], И.Ф.Голубева и И.И.Перельштейна с соавторами [5]. Работы [3] и [5] имели гриф Государственной службы стандартных справочных данных (ГСССД СССР).

Результаты новейших исследований аммиака отражены в таблицах Р.Тилнер-Ротта, Ф.Хармса-Ватценберга и Х.Баера [10], Т.Эдисона и Дж.Зенгерса [9]. В последней работе описываются термодинамические свойства аммиака в области критической точки.

Основные свойства аммиака приведены ниже.

Химическая формула	NH_3
Молекулярная масса, кг/кмоль	17,0304
Критическая температура (Международная шкала температур МТШ-90), К	405,367
Критическое давление, МПа	11,336
Критическая плотность, кг/м³	235
Температура кипения при p = 101325 Па (МПТШ-68), К	239,82
Температура тройной точки (МПТШ-68), К	195,48
Давление в тройной точке, Па	6065
Теплота парообразования при p = 101325 Па, кДж/кг	1372
Температура вспышки, °С	651
Температура термического разложения, °С	Более 450
Продукт разложения	Водород
Пожароопасная концентрация в воздухе, об. %	15–28
Взаимодействие с металлами	Реагирует с Cu, Zn, их сплавами
Растворимость в минеральных маслах	Не растворяется
Потенциал разрушения озонового слоя (ODP)	0
Потенциал глобального потепления (GWP)	0

Аммиак прекрасно растворяет воду, нерастворим в минеральных маслах. Масляная пленка в испарителях и конденсаторах аммиачных установок ухудшает коэффициенты теплоотдачи аппаратов. По данным [6], устранение только масляной пленки в аммиачных аппаратах позволяет за год снизить потребление энергии на 12–20 %. Амми-

ак не совместим с цинком, медью и их сплавами. Пессимисты считают, однако, что при наличии масляной пленки аммиак способен разрушать и сталь (явление «стресс коррозии»). Эффективным решением смазки аммиачных машин стали полигликолевые масла (PAG), растворяющие аммиак. Специальные присадки позволяют этим маслам растворять минеральные масла, снижать свою способность поглощать воду и не создавать эмульсий в аппаратах [7]. Активный поиск масел, растворяющих аммиак, ведет Одесская государственная академия холода (Украина).

Аммиак токсичен, пожаро- и взрывоопасен, обладает резким запахом. По данным [1], предельно допустимая концентрация аммиака в рабочей зоне 20 мг/м^3. По ASHRAE Standard, при концентрации аммиака 0,00035 кг/м^3 человек еще способен сам выйти из помещения. Запах аммиака при 0 °С ощущается даже при концентрации 5 мг/м^3. По совокупным оценкам многих стандартов, при концентрации аммиака 7000 мг/м^3 воздуха наступает мгновенный паралич дыхания. При 25 мг/м^3 в помещении можно находиться 8 ч, при концентрации 400–700 мг/м^3 – не более 1 ч. Стандарты безопасности уточняются и изменяются, как правило, в сторону ужесточения существующих пределов, в целом не опровергая указанных выше оценок [9,10].

Примером могут служить введенные в России с 1 мая 1999 г. Госгортехнадзором новые межотраслевые «Правила устройства и безопасной эксплуатации аммиачных и холодильных установок» (ПБ 09-220–98).

В смеси с воздухом аммиак взрывается при концентрациях от 15 до 28–30 % по объему. Нелишне знать, что при наличии масла в воздухе возникает аэрозоль. Это резко уменьшает порог взрывоопасности, так же как и энергию воспламенения. Наличие масла и воды в присутствии железа снижает более чем на 250 °С температуру термического разложения аммиака, которая составляет 450 °С (в инертной среде). Полезно знать, что продукт разложения аммиака – водород, который взрывается при концентрации всего лишь 4 % к объему воздуха.

Аммиак не прощает неосторожного обращения. Любая авария с аммиаком ведет к серьезным последствиям. Причины происшествий – утечки аммиака, гидравлические удары, разрывы трубопроводов, пожары. По статистике более чем одна треть аварий связана с человеческим фактором.

В то же время аммиак не разрушает озонового слоя Земли и не способствует глобальному потеплению.

В 1990 г. в мире было произведено промышленным способом 120 млн т аммиака. Из этого количества не более 1–2 % использовано в холодильной технике. По оценке специалистов, сегодня эксплуатируется на аммиаке всего около 100 тыс. холодильных установок. Как отметил вице-президент МИХ А.Стера на XX Конгрессе по холоду в Сиднее (сентябрь 1999 г.), аммиачные установки уже вернулись на морские рефрижераторные суда. В Голландии аммиачный чиллер холодопроизводительностью 300 кВт установлен в административном здании (в системе 160 кг аммиака), промышленный аммиачный чиллер на 2,3 МВт работает на пивоварне. В одном из супермаркетов в Дании находятся в эксплуатации две аммиачные установки – на 100 кВт при –4 °С и на 40 кВт при –18 °С. В Великобритании разрешена к применению в супермаркетах аммиачная холодильная установка на 375 кВт. В ее системе 110 кг аммиака. Два аммиачных тепловых насоса на 3,9 МВт работают в Швейцарии. Только за период с 1991 по 1994 г. количество аммиачных чиллеров в системах кондиционирования воздуха увеличилось более чем на порядок [2].

Примеров применения аммиачных холодильных машин в тепловых насосах, супермаркетах, в водоохлаждающих системах, на транспорте и т.д. становится все больше. Но это далеко не повод говорить о безрассудности людей, создающих и применяющих их и тем более дающих разрешение на их применение.

Известная философская аксиома о спирали подтверждается: на новом витке истории аммиака в жизнь вошли принципиально новые конструктивные решения и современные технологические достижения. Создание нового поколения аммиачных холодильных установок идет по пути герметизации, использования новых синтетических масел, применения эффективных пластинчатых теплообменников, резкой минимизации аммиакоемкости систем, совершенствования методов контроля и сигнализации о концентрации аммиака, систем вентиляции, строительства газоизолированных машинных залов и т.д. Называется цифра о достигнутом расходе 70 г аммиака на 1 кВт холодопроизводительности чиллера, установленного в Голландии, и даже о расходе 50 г аммиака на 1 кВт холодопроизводительности.

Переход на аммиак – не дешевое занятие: за безопасность и новые технологии надо платить. Но этот путь, имеющий многочисленные достоинства, перспективен для нашей страны. Аммиак производят в России. Аммиачные компрессоры делают здесь еще с прошлого века. Уже есть заводы, изготовляющие пластинчатые сварные аппараты для аммиака. Есть фирмы, производящие новейшие приборы контроля и сигнализации. За многие годы сложилась сервисная служба и имеются опытные кадры. Более того, инвестиции не уходят из России, создают стабильную занятость, обеспечивают отраслевой «ренессанс», т.е. окупаются и с пользой для страны. Естественно, все это возможно лишь при грамотной протекционистской поддержке со стороны государства. По примеру некоторых стран можно заблокировать аммиак жесткими правилами и нормативами, а можно дать шанс стране, используя опыт крайне недоверчивой, но многоопытной и прагматичной «старушки» Европы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бадылькес И.С.* Рабочие вещества и процессы холодильных машин. – М.: Госторгиздат.

2. *Калнинь И.М.* Расширение области применения аммиачных холодильных машин// Холодильная техника. 1996. № 5.

3. *Клецкий А.В.* Таблицы термодинамических свойств газов и жидкостей. Вып. 4. Аммиак. – М.: Изд-во стандартов, 1978.

4. *Соколов В.М.* Концепция безопасности аммиачных холодильных установок//Холодильная техника. 1999. № 5.

5. *Теплофизические* свойства аммиака/ И.Ф.Голубев, В.П.Кияшова, И.И. Перельштейн, Е.Б. Парушин. – М.: Изд-во стандартов, 1978.

6. *Berends E., Romlin J.G.* The influence of oil presence on the performance of ammonia evaporators and condensers// Natural Working fluids'98/ Proc. of the Conference of Comm. B2 with B1, E1 and E2 IIR, Oslo, Norway. 1998.

7. *Watson M.C., Oberle J.E., Rajeewski T.E.* Lubricants for natural working fluids// Natural Working fluids'98/ Proc. of the Conference of Comm. B2 with B1, E1 and E2 IIR, Oslo, Norway. 1998.

8. *Haar L., Gallagher J.S.* Thermodynamic properties of ammonia// J. Phys. Chem. Ref. Data. 1978. № 7.

9. *Edison T.A., Sengers J.V.* Thermodynamic properties of ammonia in the critical region// Int. J. of Refrigeration. 1999. Vol.22.

10. *Tillner-Roth R., Harms-Watzenberg F., Baehr H.D.* Eine neue Fundamental-gleichung fur Ammoniak// DKV-Tagungsbericht. 1993. B.20.

Л.Н.ПАРФЕНОВ,
начальник отдела
механического
оборудования и систем
Главного управления
Российского Морского
Регистра судоходства

Холодильные установки: классификация, технический надзор, сертификация оборудования

Российский Морской Регистр судоходства (РС, Регистр) – государственный орган технического надзора и классификации как классификационное общество основан в 1913 г. Регистр участвует в работе Международной морской организации, Международной организации по стандартизации (ISO). С 1969 г. РС является членом Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО), в которую входят 10 ведущих классификационных обществ мира.

В 1993 г. по результатам аудиторской проверки РС получил сертификат МАКО, подтверждающий соответствие его системы качества Международному стандарту ISO 9001. В 1999 г. по результатам возобновляющей проверки РС получил бессрочный сертификат МАКО на соответствие системы качества РС Международному стандарту ISO 9001.

Главное управление Регистра находится в Санкт-Петербурге, 13 инспекций и 64 участка располагаются на территории всей России, 28 представительств и 40 участков – за ее пределами. В различных областях, в том числе и в тех, где используется искусственный холод, более 1200 высококвалифицированных специалистов могут быстро и надежно оказать широкий спектр услуг:

- ***рассмотрение технической документации, проведение классификации, осуществление технического надзора и выдача классификационных свидетельств на судовые холодильные установки;***
- ***рассмотрение технической документации, осуществление технического надзора и выдача сертификатов на термоизолированные контейнеры;***
- ***рассмотрение технической документации, осуществление технического надзора и выдача сертификатов соответствия ГОСТ Р на шкафы холодильные, код по ОКП 515111, агрегаты компрессорные холодильные, код по ОКП 515210;***
- ***освидетельствование материалов и изделий;***
- ***сертификация систем управления качеством продукции и услуг на соответствие международным стандартам ISO серии 9000.***

Надзор за судовыми холодильными установками

Российский Морской Регистр судоходства как классификационное общество с 1968 г. осуществляет классификацию и надзор за изготовлением и эксплуатацией судовых холодильных установок. Соответственно правилам постройки и классификации морских судов все холодильные установки, представляющие потенциальную опасность человеческой жизни и безопасности мореплавания, подлежат обязательному надзору Регистра. В связи с этим все комплектующее оборудование, начиная с момента рассмотрения технической документации, должно подвергаться надзору инспекторов Регистра. Таким образом, от изготовления и в процессе эксплуатации комплектующего оборудования осуществляется контроль его качества и надежности.

Регистром разработана нормативная база требований к проектированию и безопасной эксплуатации оборудования. Это следующие документы:

- Правила классификации и постройки морских судов;
- Правила классификационных освидетельствований судов;
- Руководство по техническому надзору за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий;
- Руководство по техническому надзору за судами в эксплуатации;
- Инструкция по надзору за ремонтом оборудования.

Базируясь на накопленном опыте надзора за эксплуатацией и на современных методах оценки технического состояния, Регистр постоянно совершенствует требования нормативных документов. С этой целью создан Научно-технический совет, который координирует научно-исследовательскую деятельность. В частности, пристальное внимание уделяется безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок. Например, при тесном сотрудничестве с НИИ ГИПРОРЫБФЛОТ скорректированы требования к сигнализации, предупреждающей об утечках аммиака, порогах ее срабатывания. Разработаны требования к автоматизации судовых холодильных установок. Приходится решать проблемы безопасной эксплуатации аммиачных холодильных машин, расположенных в общих машинных отделениях.

РС отслеживает тенденции развития в области перевозок охлажденных грузов морским транспортом и своевременно отражает в своих правилах требования, предъявляемые к безопасности и сохранности грузов. В 1997 г. в Правила классификации и постройки морских судов, часть XII «Холодильные установки», вошли требования к установкам, охлаждающим груз в термоизолированных контейнерах, а также к системам регулирования состава газовой среды при перевозке скоропортящихся грузов. В части I «Классификация» нашли отражение новые символы классов судов и судовых холодильных установок. Актуальность включения данных дополнений вызвана современным развитием морских перевозок охлаждаемых грузов.

В 1998 г. вышли отдельным изданием Правила классификационных освидетельствований судов, содержащие требования к освидетельствованиям судовых холодильных установок, подробно отражающие периодичность, сроки, объем и конкретные формы проведения технического надзора за судами, находящимися в эксплуатации. Данный документ имеет цель – подробно информировать владельцев судов о нормах контроля технического состояния поднадзорного оборудования со стороны РС.

Исходя из опыта технического надзора и новых методов контроля, при освидетельствовании оборудования пересмотрены следующие требования:

- сокращен регламент проведения испытаний с 24 до 16 ч при очередных освидетельствованиях установок в действии;
- оговорена необходимость проведения испытаний изоляционной конструкции охлаждаемых помещений, что сокращает сроки данных освидетельствований на 12 ч.

С учетом современных требований к освидетельствованию оборудования РС оптимизировал вид документов, оформляемых при надзоре за судовыми холодильными установками. Так, регистровая книга заменена актом освидетельствования, составленным по принципу опросного листа с фиксированием конкретных проверок и испытаний, проводимых при соответствующих освидетельствованиях. Изменен вид классификационного свидетельства. Изначально область надзора РС за холодильным оборудованием ограничивалась рыболовными, рыботранспортными и рефрижераторными судами, а выдаваемые документы отражали особенности холодильных установок на судах данных типов. В настоящее время искусственный холод используется в различных областях. К традиционным перевозкам охлажденных грузов на судах рефрижераторного типа добавляются транспортировка сжиженных газов на судах-газовозах, перевозки в термоизолированных контейнерах с регулированием состава газовой среды. В новом свидетельстве на классифицированную РС холодильную установку указаны:

- характеристики охлаждаемых грузовых помещений, диапазон поддерживаемых в них температур;
- максимально допустимые условия окружающей среды;
- характеристики основного и специального оборудования.

Все перечисленные данные позволяют предельно полно информировать о составе и возможностях установок различных типов.

Соблюдая требования Монреальского протокола, Регистр начиная с 1995 г. допускает замену R12 в действующих холодильных установках на R134a и сервисные смеси МР-39, МР-66 фирмы «Дюпон». Для проверки работы оборудования после замены R12 на сервисную смесь МР-39 были проведены опытные испытания холодильного оборудования на теплоходе «Иван Прибыльской». Результаты проверки были признаны в целом удовлетворительными, однако недостаточный по продолжительности единичный опыт эксплуатации и отсутствие данных по воздействию всего спектра материалов, применяемых в холодильных системах с компонентами сервисной смеси МР-39 и алкилбензольным маслом, не позволяют сделать окончательные выводы. В настоящее время перечень хладагентов, допускаемых для замены R12 в существующих холодильных установках, дополнен отечественной смесью с торговой маркой «Астрон 12». Одним из важных преимуществ данной смеси является ее совместимость с отечественными минеральными маслами, применяемыми в холодильных машинах, работающих на R12. Практически это означает, что при замене хладагента не требуется трудоемкой очистки холодильной установки от смазочного масла, что значительно упрощает и удешевляет замену R12.

Все перечисленные хладагенты разрешено использовать только в неклассифицированных Регистром холодильных установках ввиду отсутствия данных, достаточных для обобщения опыта по эксплуатации судового холодильного оборудования после замены R12 сервисными смесями.

В настоящее время в России отсутствует единая система методики тестирования новых хладагентов, не регламентированы требования по определению их теплофизических и термодинамических свойств, что существенно затрудняет процесс проверки и сертификации альтернативных хладагентов. Вместе с тем методики отдельных видов испытаний содержатся в основном в действующих российских и международных стандартах. В связи с этим новые хладагенты включены в номенклатуру объектов надзора и подлежат обязательной сертификации РС.

Правила постройки и классификации морских судов дополнены требованиями к применяемым хладагентам. При их рассмотрении в первую очередь оцениваются показатели пожаровзрывобезопасности, токсичности, озоноразрушающий потенциал и потенциал глобального потепления. Подлежат проверке: эксплуатационные характеристики хладагента с измерением всех рабочих параметров; данные о его совместимости со смазочным маслом, конструкционными материалами; характеристики износостойкости деталей и пар трения при работе компрессоров на данном хладагенте и с соответствующим смазочным маслом.

Кроме того, существует протокол 1997 г. к Конвенции МАРПОЛ, содержащий приложение VI, в котором во исполнение правила № 12 предпола-

гается запретить применение на строящихся судах холодильных установок с озоноразрушающими веществами, входящими в группу А Монреальского протокола, и ограничить срок применения оборудования с озоноразрушающими веществами, входящими в группу В того же протокола, на строящихся судах до 2020 г. Из применяемых в судовой холодильной технике хладагентов к группе А относятся R12 и R502 как смесевой хладагент, содержащий R115. К группе В относится R22.

Исходя из вышеизложенного и во исполнение обязательств Российской Федерации Регистр запретил применение озоноразрушающих хладагентов R12 и R502 с октября 1997 г. на новостроящихся судах.

Требования Монреальского протокола направлены на ограничение и последующее прекращение производства озоноразрушающих веществ, использование которых (например, R12) возможно до их естественной убыли. При этом не ограничивается применение рециклированного хладагента, утилизируемого из списываемых холодильных установок и из холодильных установок, в которых производится замена R12 озонобезопасными или озономалоактивными веществами. Прекращение производства R12 неизбежно приведет к его дефициту и повышению цен. Таким образом, для владельцев судов вопрос о замене R12 в эксплуатирующихся холодильных установках становится весьма актуальным и будет решаться в зависимости от возможности обеспечения поставок R12 для восполнения утечек, тем более что Правительством РФ принято постановление № 1368 от 9 декабря 1999 г. «Об усилении мер государственного регулирования ввоза и вывоза в РФ озоноразрушающих веществ».

В настоящее время ведущие фирмы, производящие холодильное оборудование, предлагают применять аммиачные холодильные машины с промежуточными схемами охлаждения, концентрируя при этом все оборудование, находящееся под давлением в одном газонепроницаемом помещении с соответствующими мерами безопасности.

Аммиачные холодильные установки всегда широко использовались на судах флота рыбной промышленности. К началу 70-х годов 90% всех судов были оборудованы такими установками. В настоящее время в классе Регистра находится 605 судов с аммиачными холодильными установками. Это примерно 40 % общего числа судов, имеющих поднадзорные холодильные установки.

Возможно в ближайшем будущем, исходя из сложившейся ситуации запрета экологически опасных хладагентов, можно будет ожидать увеличения этого показателя. Тем более что с начала 90-х годов наметилась тенденция увеличения количества строящихся судов с аммиачными холодильными установками.

Подводя итоги, следует отметить, что класс, присваиваемый РС холодильной установке, подтверждает ее способность к поддержанию требуемых температур в охлаждаемых помещениях, отражает потенциальные возможности сохранения грузов при перевозке, обеспечения безопасности и гарантии надежности. Фактор надзора определяет ее фактическое техническое состояние, подтверждаемое систематическими освидетельствованиями, что в конечном итоге влияет на определение суммы фрахта судна, страховок его и груза. Важно отметить, что признание класса РС международными организациями страхования обеспечивает владельцам судов более выгодные условия страхования судов и грузов, дает возможность пользоваться другими льготами, выработанными международной практикой.

Промышленность, транспорт, сфера услуг

Промышленный отдел РС выполняет:

- сертификацию промышленной продукции в системе ГОСТ Р;
- сертификацию промышленных объектов и продукции, представляющих потенциальную опасность для людей и окружающей среды, в соответствии с поручениями, соглашениями и лицензиями государственных органов надзора;
- независимую экспертизу по заявкам заказчика;
- технический надзор за транспортными средствами и оборудованием, универсальными и специализированными контейнерами;
- экспертизу технологии перевозки грузов.

Регистр аккредитован Госстандартом и имеет лицензии на проведение работ по сертификации широкой номенклатуры материалов и изделий из черных и цветных металлов, сплавов, продукции химической промышленности, товаров промышленного и бытового назначения, в том числе холодильных установок, морозильников, компрессоров и арматуры, а также объектов, поднадзорных Госгортехнадзору РФ. Специалисты отдела аттестованы в качестве экспертов в системе Регистра, ГОСТ Р и Госгортехнадзора. Сертификация производится на базе испытательных центров и научно-исследовательских лабораторий, признанных РС, Госстандартом и Госгортехнадзором России.

Регистр признан компетентной организацией в области сертификации промышленной и бытовой продукции в ряде стран Западной Европы. Регистром проведены работы по сертификации в системе ГОСТ Р холодильного оборудования фирм Ateliers Francois S.A. (Бельгия), M.G. Herl Armaturenfabrik (Германия), Carrier (США) и др.

В соответствии с соглашением и лицензией Госгортехнадзора РС осуществляет сертификацию оборудования, контроль качества и приемку объектов, поднадзорных Госгортехнадзору, экспертизу безопасности объектов котлонадзора, подъемных сооружений и объектов газового хозяйства.

Возглавляя рабочую группу МАКО по контейнерам, РС выполняет работу в этой области на уровне международных стандартов. Он принимает активное участие в совершенствовании унифицированных требований МАКО.

С учетом требований Международной конвенции по безопасным контейнерам (1972 г.), Таможенной конвенции, касающейся контейнеров (1972 г.), международных и национальных стандартов, унифицированных требований МАКО Регистр разработал Правила по контейнерам. В 1996 г. вышло дополненное издание Правил.

С 1995 г. РС является организацией, представляющей на территории РФ и других стран СНГ Международное бюро по контейнерам, которое выполняет регистрацию кодов владельцев контейнеров в соответствии со стандартами ISO.

В настоящее время на базе уникального оборудования испытательных центров с использованием большого опыта обслуживающего персонала под надзором РС осуществляются как стандартные испытания контейнеров всех типов, так и дополнительные, необходимые для совершенствования конструкции, полного ее анализа и прогнозирования эксплуатационных свойств.

Новый мир качества

Понимание основных принципов управления качеством и его новой философии стало началом широкого распространения современных взглядов в различных отраслях промышленности, на транспорте и в сферах услуг. Качество – это мощный инструмент повышения эффективности всей деятельности и уровня управления организацией.

Сознавая значение качества и безопасности продукции и услуг в современном мире, а также выполняя международные требования по безопасности морских перевозок и предотвращению загрязнения, РС создал новое подразделение – Службу качества.

Как свидетельствует мировой опыт, основными способами практической реализации новых взглядов на качество являются разработка, внедрение и сертификация внутрифирменных систем качества, основанных на требованиях Международного стандарта ISO 9000.

РС разработал и использует свою систему качества, отвечающую требованиям Международного стандарта ISO 9000, резолюции ИМО А.739 (18), а также требованиям МАКО к системе качества классификационного общества.

С 1992 г. РС развивает перспективное направление, связанное с сертификацией систем качества в различных отраслях промышленности и сферах услуг. Для этой цели РС разработал и внедрил специальные процедуры проведения оценки и сертификации систем качества поставщиков, соответствующие требованиям Международного стандарта ISO 9000 и Европейского стандарта EN 45000. Эти процедуры включают оценку и сертификацию систем качества, порядок выдачи Сертификата соответствия, проведение последующего периодического надзора, порядок изъятия Сертификата в случае необходимости или при остановлении его действия, требование конфиденциальности полученной информации.

По желанию заказчиков РС проводит оценку и сертификацию их систем качества в различных отраслях промышленности и сферах услуг. К ним относятся:

- машиностроение и приборостроение;
- черная и цветная металлургия;
- химия и нефтехимия;
- разработка и проектирование;
- создание программного продукта;
- строительство, транспорт, международные перевозки, связь;
- продукция медицинского назначения, здравоохранение;
- пищевая промышленность;
- организация туризма и отдыха (рестораны, гостиницы, турфирмы, развлечения, радио, телевидение);
- эксплуатация судов;
- судостроение и судоремонт;
- услуги по экспедированию грузов, агентированию судов и др.

Многие отечественные и зарубежные фирмы выбирают РС в качестве партнера для решения проблем разработки и сертификации систем качества потому, что он имеет ряд преимуществ:

- является членом МАКО, поэтому сертификаты РС имеют международный статус. Подтверждением качества его услуг является Сертификат соответствия системы качества РС требованиям МАКО;
- может выдавать сертификаты от своего имени или от имени Госстандарта, т.е. в системе ГОСТ Р, что имеет значение для многих фирм, работающих на территории России;
- проводит аудит систем качества и выдает сертификаты на русском и английском языках;
- проводит сертификацию систем качества как независимая от поставщика и потребителя организация, т.е. действует как третья сторона. По желанию клиентов РС может проводить оценку системы качества как вторая сторона, т.е. действовать по поручению клиента с соответствующим оформлением результатов аудита.

Примером этому являются сертифицированные РС системы качества таких предприятий, как: Металлургический комбинат Rautaruukki Oy (Финляндия), Представительство DHL International в России, Вологодский подшипниковый завод, завод электронного приборостроения «Планета», судоремонтное предприятие «Дальзавод», завод самоходных кранов «Краян», завод стальных канатов и проволоки «Стальканат», морское агентство «Интерброкер», ПО «Стекловолокно», ОАО «Кондитерская фабрика «Волжанка», ОАО «Омутинский металлургический завод», пивоваренный завод «Балтика».

Адрес Регистра: Россия, 191186, Санкт-Петербург, Дворцовая наб. 8.
Телефон: (812) 314-07-43, телекс :121525 rssu ru, факс: (812) 314-10-87, телетайп: 321235 TRONK.
E-mail: pabox@rs-head.spb.ru.

УДК [621.564.25:551.510.534](042.3)

ЭКОЛОГО-ТЕРМОЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ АММИАКА В ХОЛОДИЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Канд.техн.наук **В.П.ЖЕЛЕЗНЫЙ**,
канд.техн.наук **П.В.ЖЕЛЕЗНЫЙ**,
инж. **О.В.ЛЫСЕНКО**
Одесская государственная академия холода
В.С.ОВЧАРЕНКО
АО «Промхолод»

Решения по ограничению выбросов парниковых газов в атмосферу (Протокол Киото, 1997) стали началом нового этапа в затянувшемся процессе перевода холодильной техники на экологически безопасные рабочие вещества. Государственная политика в области получения искусственного холода в странах Европейского Союза начинает ориентироваться не только на ограничение эмиссии галоидопроизводных углеводородов и введение налога на нее, но и на более широкое использование природных хладагентов, среди которых ведущее место занимает аммиак (R717).

Ecological, thermal and economical analysis was used in the study of prospects for the use of ammonia in new generation of refrigeration equipment. This method uses new efficiency criteria based on the evaluation of minimum level of emission of greenhouse gases during production of cold. The conclusion about good reasons for the use of ozone safe refrigerants was made within the frame of systems approach the essence of which consisted in consecutive increased complication of the objects of investigations. The analysis has shown that even taking into account additional engineering measures necessary for ensuring a safe use of ammonia this refrigerant has no alternative from ecological and energy point of view.

Хладагент R717 используют вот уже много лет в крупных промышленных холодильных установках. Этот хладагент не разрушает озонового слоя и не способствует увеличению парникового эффекта. Энергетическая эффективность применения R717 в холодильном оборудовании так же высока, как и при использовании R22. Кроме того, стоимость аммиака значительно ниже стоимости галоидопроизводных углеводородов. По сравнению с галоидопроизводными хладагентами R717 имеет более высокий коэффициент теплоотдачи, в связи с чем в теплообменных аппаратах могут быть установлены трубы меньшего диаметра при заданной холодопроизводительности.

К сожалению, аммиак имеет и недостатки, которые в значительной мере ограничивают его применение в промышленности, а при модернизации оборудования приводят к необходимости принимать дорогостоящие технические решения.

Один из недостатков R717 – большое значение показателя адиабаты, что вызывает значительное повышение температуры сжатого газа на выходе из компрессора. В связи с этим предъявляют жесткие требования к термической стабильности используемых холодильных масел. Применяемые в настоящее время масла не растворяются в R717, в связи с чем требуется устанавливать маслоотделители, что увеличивает стоимость холодильной машины. В последние годы проводят интенсивные научные исследования по разработке масла, растворимого в аммиаке [6, 9], и созданию холодильного оборудования с «сухим» испарителем. Высокая растворимость компонентов рабочего тела исключает образование пленки масла на теплообменных поверхностях, в результате чего коэффициент теплоотдачи возрастает с 2700 до 9100 Вт/(м² • К) [9]. Достигнутый в последние годы прогресс в разработке растворимых в R717 холодильных масел может кардинально изменить тенденции в развитии холодильного машиностроения.

Аммиак имеет чрезвычайно высокое значение теплоты парообразования, а следовательно, масса циркулирующего хладагента относительно невелика (13–15% по сравнению с R22). Однако это благоприятное для крупных холодильных установок качество затрудняет регулирование подачи аммиака в испаритель при малых мощностях. Дополнительные сложности при создании холодильного оборудования создает химическая активность аммиака по отношению к меди и медным сплавам. Вследствие высокой токсичности и горючести аммиака сварные соединения подлежат тщательному контролю. Из-за электропроводности R717 затрудняется создание полугерметичных и герметичных компрессоров.

Безопасная эксплуатация аммиачных холодильных установок связана в большинстве случаев с необходимостью использования вторичного хладоносителя, а в ряде случаев – воздухонепроницаемого компрессорного помещения, эффективной вентиляции, систем контроля и поглощения аммиака в случае его утечки. Дополнительные энергетические затраты на реализацию указанных мероприятий увеличивают антропогенное влияние холодильной техники на окружающую среду. Учет этого влияния может быть оценен с помощью эколого-термоэкономического метода анализа [3].

Расчетную оценку эффективности применения хладагентов, альтернативных R22, проводили в рамках системного подхода, суть которого заключалась в последовательном усложнении объекта исследования (теоретический, действительный компрессор, холодильная машина). Такой подход позволяет повысить полноту информации об ожидаемых эколого-энергетических характеристиках оборудования, в котором используются альтернативные хладагенты.

В расчетах приняты следующие допущения: гидравлические потери и потери эффективности, вызванные наличием примесей масла в хладагенте, не учитываются; перегрев хладагента в испарителе мал; электромеханические потери не зависят от термодинамических параметров рассматриваемых рабочих тел; потерями эксергии в результате теплообмена через поверхность аппаратов и элементов холодильной машины (кроме всасывающей линии) с окружающей средой можно пренебречь.

В качестве объекта исследований выбран компрессор 1П10-2-02, выпускаемый АО «РЕФМА», теоретическая производительность которого V_h = 31 м³/ч. Для этого компрессора известны экспериментальные данные о холодопроизводительности Q_0 и потребляемой электрической мощности N_e в случае применения хладагента R22. Данная информация позволила определить коэффициент подачи λ и электрический КПД компрессора η_e:

$$\lambda = Q_0 / Q_{0T}; \quad (1)$$

$$\eta_e = N_s / N_e, \quad (2)$$

где Q_{0T} – теоретическая холодопроизводительность при объемной эффективности компрессора, равной единице;

N_s – мощность адиабатного сжатия.

Цикл одноступенчатой парокомпрессионной холодильной машины показан на рис. 1.

Значения λ и η_e для галоидопроизводных хладагентов, альтернатив-

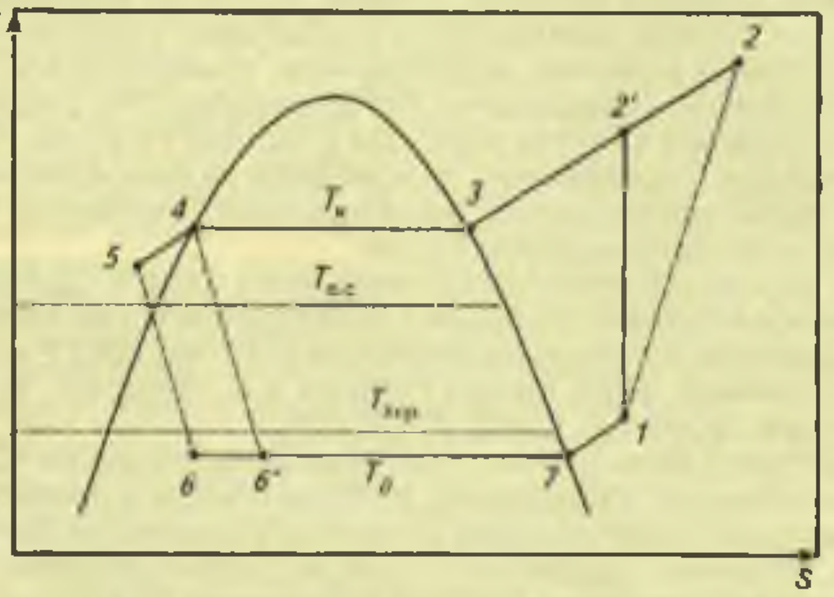


Рис. 1. Цикл одноступенчатой парокомпрессионной холодильной машины в T,s-диаграмме:
T_0, $T_к$ – температуры соответственно кипения и конденсации;
$T_{о.с}$, $T_{зкр}$ – температуры соответственно окружающей среды и в охлаждаемом объеме

ных R22, могут быть приняты одинаковыми, поскольку уровень давлений насыщенных паров у них достаточно близок. Как показывают исследования, это предположение справедливо для высокотемпературного и среднетемпературного режимов работы компрессора. Для низкотемпературного режима работы компрессора различие в коэффициентах подачи для хладагентов, альтернативных R22, может достигать 10%.

Индикаторный КПД компрессора рассчитывали по известным формулам:

для альтернативных R22 галоидопроизводных хладагентов

$$\eta_i = \lambda_w + 0.0025 t_0; \quad (3)$$

для R717

$$\eta_i = \lambda_w + 0{,}001 t_0, \quad (4)$$

где $\lambda_w = T_0/T_k$ – коэффициент подогрева; t_0 – температура кипения хладагента, °С.

Значения коэффициента подачи и электрического КПД для R717 были взяты из [5]. Полученные таким образом коэффициенты действительного компрессора учитывали при определении эксергетических потерь, методика расчета которых подробно изложена в работах [1, 4].

Как показывает сравнение энергетических характеристик теоретического и действительного компрессоров, работающих на R22, значения их холодопроизводительности Q_0, холодильного коэффициента ε и особенно эксергетического КПД η_{ex} сильно различаются (рис. 2). Поэтому необходимо относиться с достаточной осторожностью к рекомендациям по выбору хладагентов, основанному только на теоретическом анализе циклов без учета корректно определенных значений коэффициента подачи и коэффициента полезного действия компрессора.

Результаты расчета эксергетических потерь Π_{i-k} для компрессорной системы, работающей на хладагенте R22 при различных температурах кипения, приведены на рис. 3. Сложный характер зависимостей $\Pi_{i-k} = f(T)$ обусловлен противоречивым влиянием на абсолютную величину потерь двух факторов: во-первых, увеличением необратимости процессов, протекающих в компрессорной системе; во-вторых, уменьшением массового расхода хладагента, циркулирующего по контуру системы. Максимальные эксергетические потери $\Sigma\Pi_{ik}$ наблюдаются в интервале температур $258 \le T_0 \le 268$ К. Зависимость холодопроизводительности Q_0, эксергетического КПД η_{ex} и подводимой эксергии E_{ex} для компрессора, работающего на R22, от T_0 показана на рис. 4, из которого следует, что η_{ex} имеет экстремум.

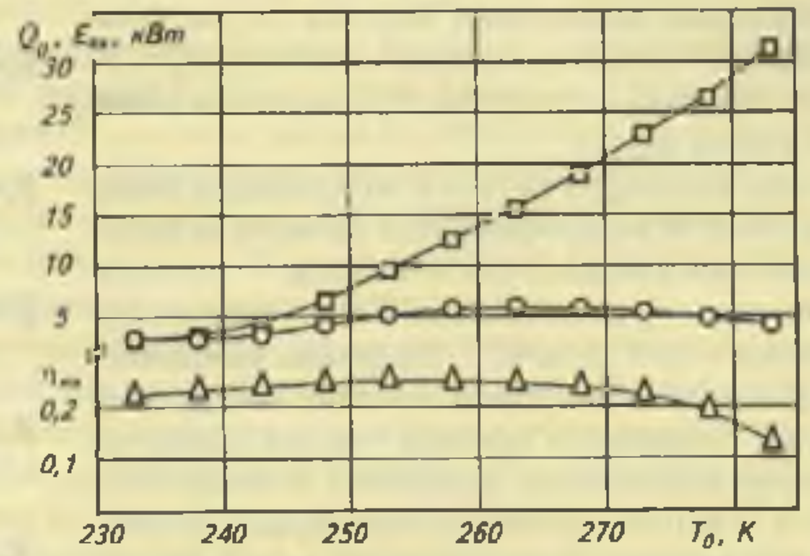


Рис. 4. Зависимость энергетических характеристик от температуры кипения в компрессорной системе при работе на R22:
□ – холодопроизводительность Q_0; ○ – эксергия E_{ex}; Δ – эксергетический КПД η_{ex}

Анализ результатов расчета составляющих $TEWI_N$ потоков [3] позволяет прийти к заключению, что характер их изменения (рис. 5) в значительно большей мере определяется уменьшением массового расхода хладагента, чем возрастанием необратимости процессов в компрессорной системе, связанным с понижением T_0. Таким образом, помимо необратимости величину потоков $TEWI_N$ определяют массовый расход хладагента M_r, коэффициент подачи λ и степень повышения давления в компрессоре p_k/p_0.

Эколого-термоэкономические коэффициенты компрессорной системы [3] существенно зависят от параметров холодильного цикла (рис. 6). Как показывают расчеты, при температуре кипения хладагента в испарителе $T_0 = 233$ К получение единицы эксергии холода сопряже-

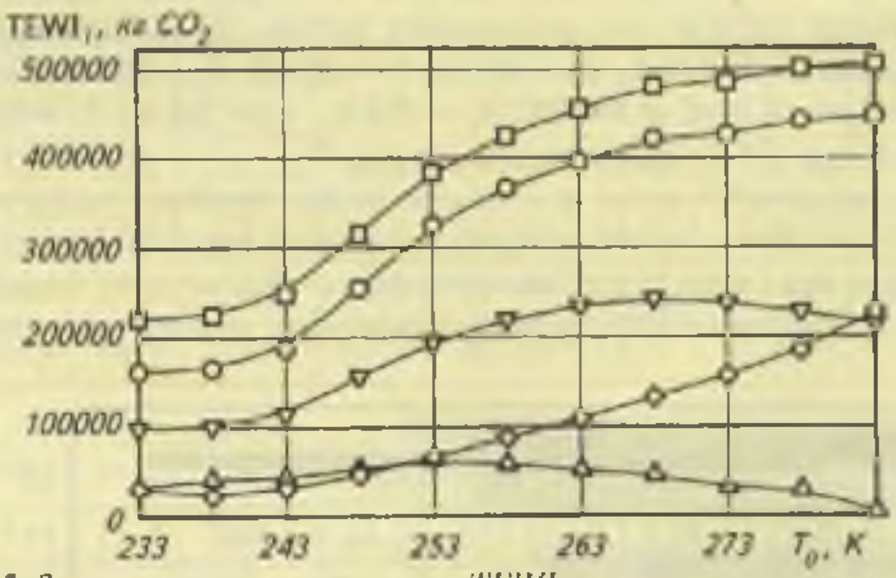


Рис. 5. Зависимость составляющих $TEWI_N$ потоков от температуры кипения для компрессорной системы при работе на R22:
□ – $TEWI_N$, полный эквивалент глобального потепления; ○ – $TEWI_P$, эмиссия CO_2 от рационально использованной на производство холода энергии; Δ – $\Delta TEWI_{P\,вн}$, косвенный вклад в $TEWI_N$ от внутренней необратимости процессов в холодильном цикле; ∇ – $\Delta TEWI_{P\,вш}$, косвенный вклад в $TEWI_N$ от внешней необратимости процессов в холодильном цикле; ◊ – $TEWI_Q$, эмиссия CO_2 от части энергии, преобразованной в холод

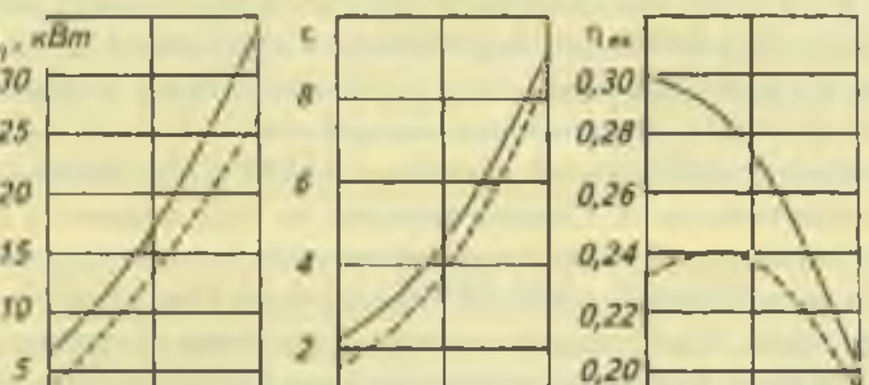


Рис. 2. Энергетические характеристики теоретического и действительного компрессоров при работе на R22 при различных режимах (T_k=303 K, T_i=293 K, $T_{ш}$ = 293 K):
——— – теоретический компрессор; ——— – действительный компрессор

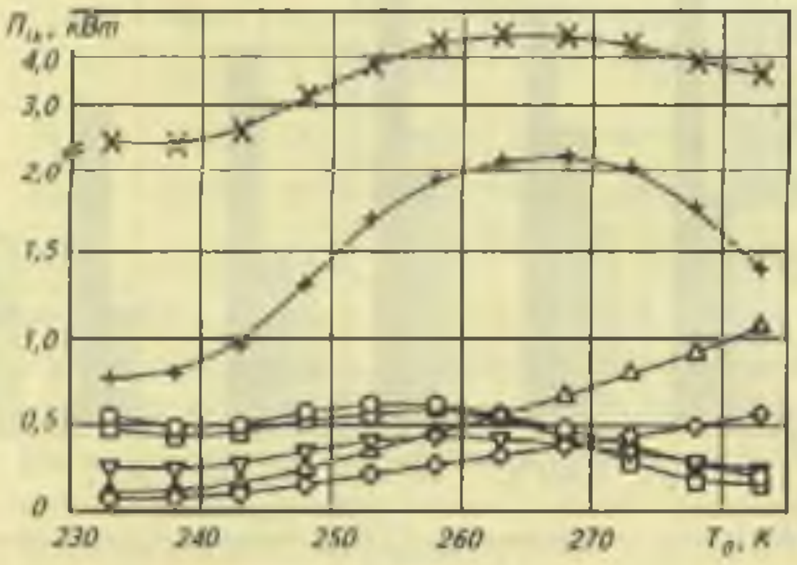


Рис. 3. Зависимость эксергетических потерь Π_{ik} от температуры кипения в компрессорной системе при работе на R22 ($T_к$=303 K, $T_{ш}$=293 K, $T_{вн}$=T_0+5 K)
□ – Π_{12}; ○ – Π_{33}; Δ – $\Pi_{1ф}$; ∇ – $\Pi_{ш-к}$; ◊ – $\Pi_{к-т}$; + – $\Pi_{тт}$; × – $\Sigma\Pi_{ik}$

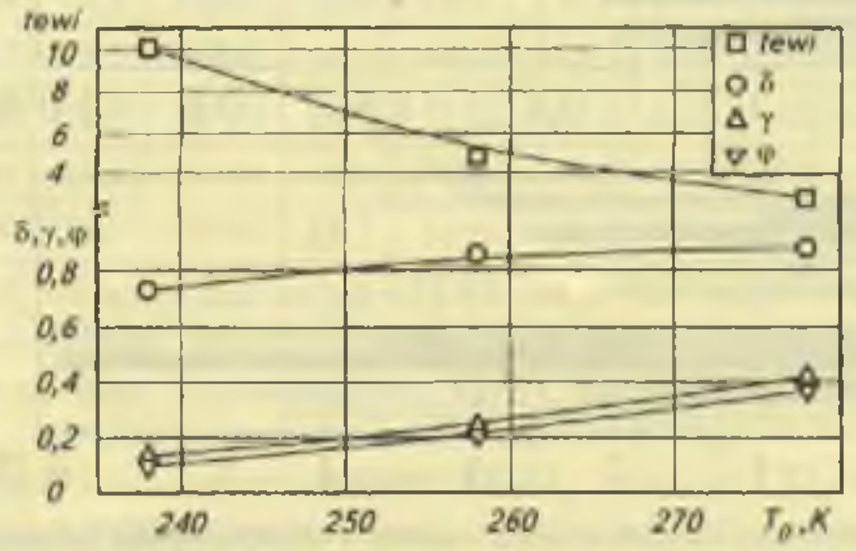


Рис. 6. Зависимости коэффициентов: tewi, прямого экологического действия δ, косвенного экологического действия γ, эколого-термоэкономического совершенства φ от температуры кипения для компрессорной системы при работе на R22

но с пятикратным увеличением эмиссии CO_2 по сравнению с высокотемпературным режимом, когда $T_0 = 283$ K (об этом свидетельствует характер изменения коэффициента tewi на рис. 6).

При утечке хладагента за 10 лет эксплуатации компрессора, равной 40 кг, коэффициент прямого экологического действия компрессорной системы δ изменяется с понижением T_0 в значительно более узком интервале значений – от 0,88 до 0,73. Напротив, коэффициент косвенного экологического действия компрессорной системы γ отличается высокой чувствительностью к изменению температуры хладагента в испарителе: $0,41 \geq \gamma \geq 0,13$. Это обстоятельство свидетельствует о высоком уровне влияния эксергетических потерь на эколого-энергетические коэффициенты.

Значения коэффициента эколого-термоэкономического совершенства φ также указывают на высокий уровень антропогенного воздействия от нерационально используемых компрессорной системой энергетических ресурсов при производстве искусственного холода. Причем уровень этого воздействия возрастает по мере снижения температуры кипения хладагента в испарителе.

Широкий интервал изменения значений предложенных эколого-термоэкономических коэффициентов, их высокая чувствительность к изменению термодинамических параметров и экологических ($TEWI_v$) факторов дают основание рекомендовать их для использования в задачах оптимального выбора хладагента, альтернативного R22. С этой целью проведен эколого-термоэкономический анализ перспектив использования таких хладагентов, альтернативных R22, как R134a, R404A, R407C, R410B и R717. Выбор указанных хладагентов был продиктован не только проведенными ранее исследованиями [2, 5], но и возрастающим объемом выпуска нового холодильного оборудования, в котором используются указанные рабочие вещества.

Результаты расчета эксергетических потерь на спецификационных режимах ($T_0 = 258$ K, $T_c = 303$ K, $T_1 = 293$ K, $T_3 = 298$ K для R22, R404A, R134a, R407C и R410A; $T_0 = 258$ K, $T_c = 303$ K, $T_1 = 263$ K, $T_3 = 298$ K для R717) представлены на рис. 7.

Анализируя полученные результаты, можно прийти к заключению о том, что эксергетические потери в различных процессах холодильного цикла для хладагентов, альтернативных R22, существенно различаются. Минимальный уровень суммарных эксергетических потерь $\Sigma\Pi_{ik}$ характерен для компрессорных систем при работе на хладагентах R134a и R717. Вместе с тем при одинаковой производительности V_h компрессор на аммиаке обеспечивает в 2,4 раза большую холодопроизводительность. Высокий уровень потерь во всасывающей линии в случае применения галоидопроизводных хладагентов может быть уменьшен использованием регенеративного теплообмена.

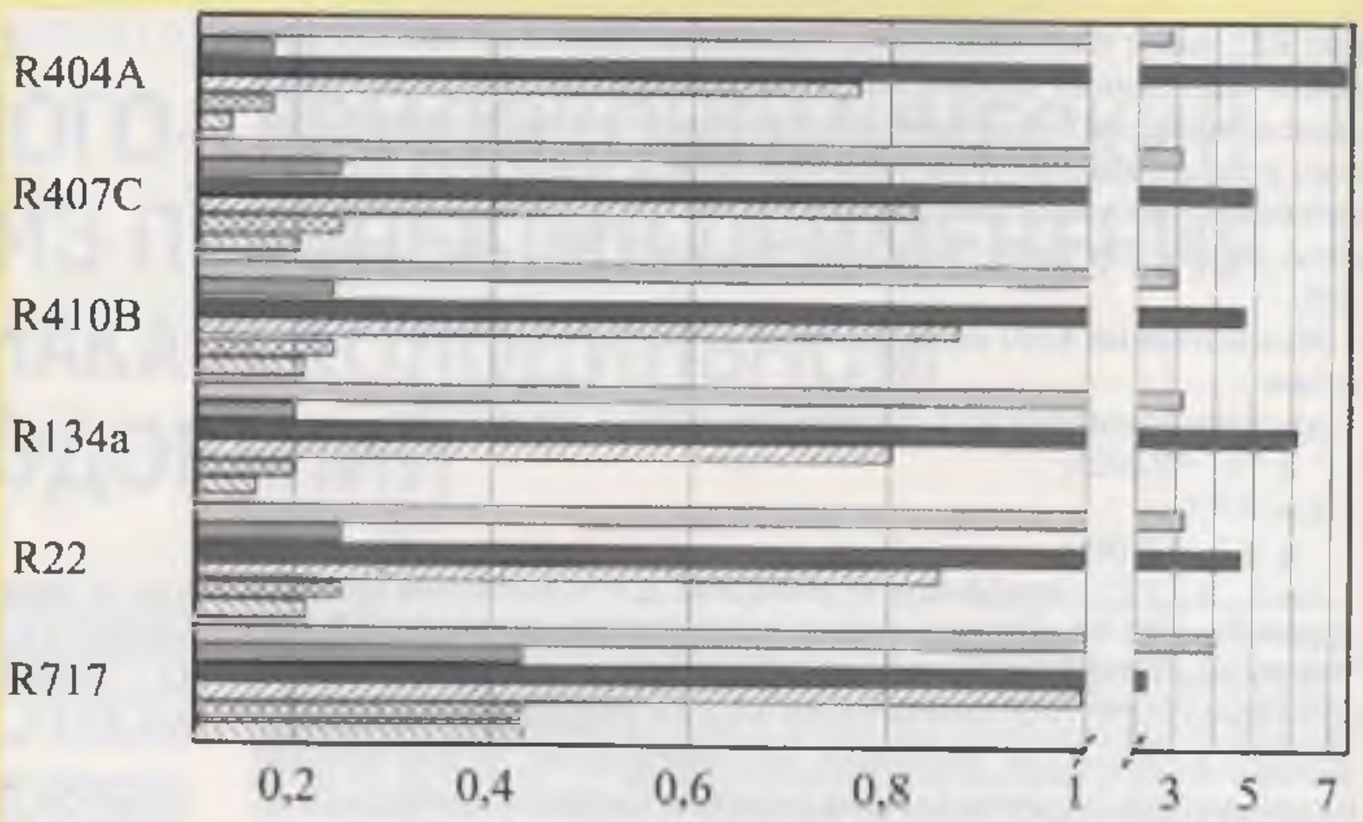


Рис. 8. Значения коэффициентов, характеризующих эколого-энергетическую эффективность использования различных хладагентов в компрессоре 1П10-2-02:
– холодильный коэффициент ε; – эксергетический КПД η_{ex};
– tewi; – коэффициент прямого экологического действия δ;
– коэффициент косвенного экологического действия γ;
– коэффициент эколого-термоэкономического совершенства φ

Как видно из рис. 8, все компрессоры, за исключением работающих на R404A и R717, имеют примерно равные значения холодильного коэффициента ($2,97 \leq \varepsilon \leq 3,22$) и общего эксергетического КПД ($0,2 \leq \eta_{ex} \leq 0,25$), что свидетельствует об ограниченных возможностях термодинамического исследования в решении экологических проблем, связанных с эмиссией парниковых газов. В рамках данного метода наибольшую перспективу для нового поколения холодильного оборудования имеет хладагент R410B из-за высокой холодопроизводительности. Однако переход на этот хладагент сопряжен со значительными техническими трудностями, поскольку R410B имеет самое большое давление насыщенных паров при температуре конденсации. Из-за высокого уровня давлений потребуется внести существенные изменения в конструкцию узлов холодильной машины. По этой причине большинство производителей холодильного оборудования предпочитают применять R407C в качестве альтер-

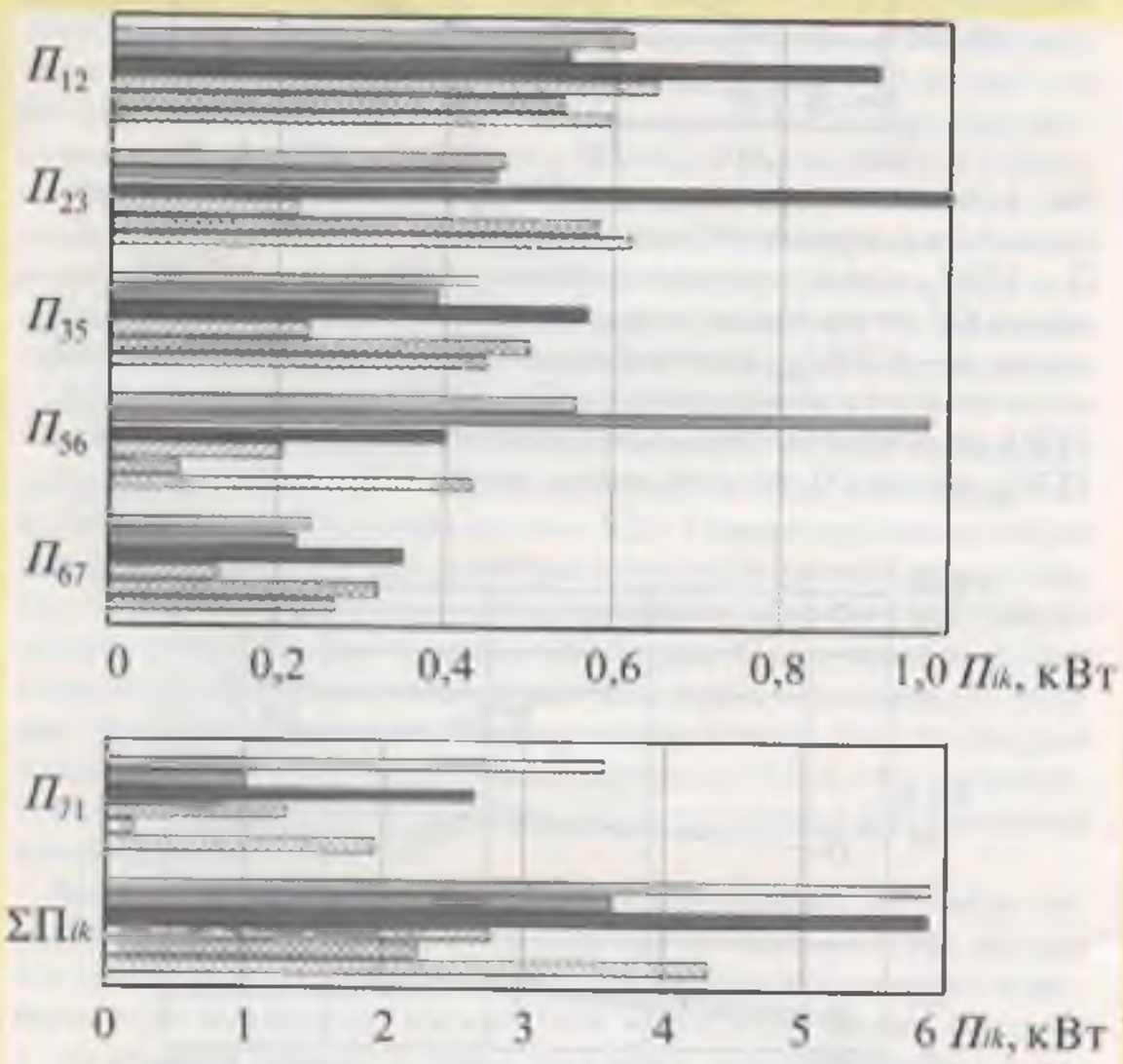


Рис. 7. Величина эксергетических потерь в компрессорной системе для различных хладагентов:
– R404A; – R407C; – R410B;
– R134a; – R717; – R22

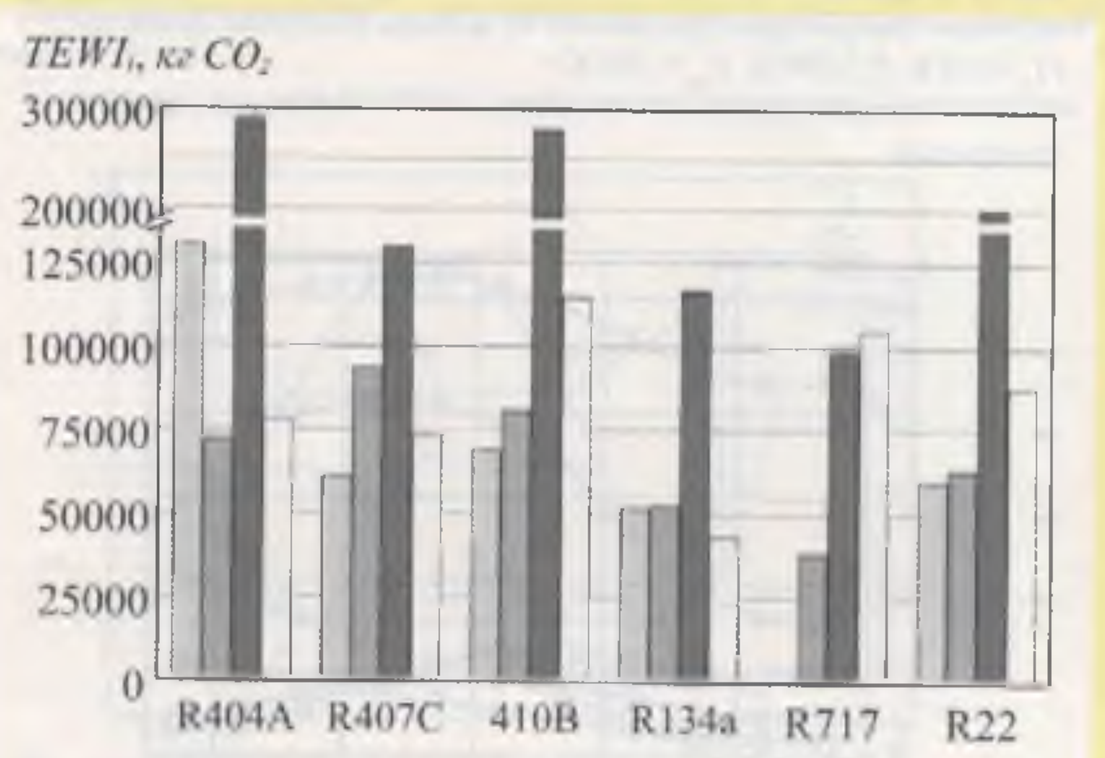


Рис. 9. Величина составляющих $TEWI_v$ потоков для компрессорной системы:
– $\Delta TEWI_{ут}$; – $\Delta TEWI_{р.вн}$;
– $\Delta TEWI_{р.выш}$; – $TEWI_0$

нативы R22, перекладывая все трудности использования зеотропного хладагента на потребителя.

У компрессоров, работающих на R134a при заданных параметрах холодильного цикла, практически одинаковые по сравнению с компрессорами, работающими на R22, значения холодильного коэффициента. Но замена R22 на R134a в компрессоре 1П10-2-01 нецелесообразна из-за незначительной холодопроизводительности ($Q_{0\ R22}/Q_{0\ R134a}$ = 2,03) и низкого значения эксергетического КПД. Напротив, результаты термодинамического анализа свидетельствуют о существенных преимуществах аммиака ($Q_{0\ R717}/Q_{0\ R22}$=1,2, $\eta_{ex\ R717}/\eta_{ex\ R22}$=1,7).

Результаты эколого-термоэкономического анализа компрессорной системы в целом подтверждают перспективность применения хладагентов R407C, R410B и R717 (см. рис. 8, 9). Вместе с тем высокое абсолютное значение $TEWI_N$ для компрессора, работающего на R410B, не отражает его низкой эколого-энергетической эффективности (поскольку достигается очень высокий уровень холодопроизводительности). Коэффициенты, предложенные в работе [3], несут значительно более полную информацию об эколого-термоэкономической целесообразности применения хладагента, чем TEWI, общий эксергетический КПД и тем более холодильный коэффициент или предложенные недавно экономические критерии [8]. Если значения холодильного коэффициента ε для галоидопроизводных хладагентов, альтернативных R22, изменяются всего в 1,14 раза, эксергетического КПД – в 1,4 раза, то значение эколого-термоэкономического коэффициента φ изменяется в 1,6 раза.

Как показывают результаты эколого-энергетического анализа, целесообразно более широкое использование аммиака в новом поколении холодильного оборудования. Напротив, ориентация на выпуск холодильной техники с применением R404A ни с термодинамической, ни с экологической точек зрения не оправдана. К преимуществам этого хладагента относятся лишь низкая температура нагнетания T_c = 355 K, небольшое значение ΔT_{glide} (≤ 0,5 K) по сравнению с R407C и возможность сравнительно простой адаптации выпускаемого холодильного оборудования к данному рабочему телу.

Для исследования трансформации эколого-термоэкономических показателей при переходе от компрессорной системы к холодильным машинам было рассмотрено холодильное оборудование производства АО «РЕФМА». Холодильные машины для охлаждения воздуха с конденсатором воздушного охлаждения МВВ3-2-2 и МВВ3-2-2 и водяного охлаждения 1МКВ4-2-2 укомплектованы одним и тем же компрессором 1П10-2-02. Эколого-термоэкономические характеристики различных хладагентов, рассматриваемых применительно к данным машинам, приведены в табл. 1. Коэффициент $TEWI_N$ рассчитывали с учетом мощности, потребляемой холодильными машинами, при следующих параметрах: температура в охлаждаемом объеме $T_{0\ в}$ = 263 K, температура воды и воздуха на входе в конденсатор 303 K, масса заправки хладагентом 10 кг, общий уровень утечки хладагента при эксплуатации машины в течение 10 лет составляет 40 кг. При расчете $TEWI_N$ не учитывали изменение массы холодильных машин, работающих на различных хладагентах. Но этим фактором из-за незначительности его влияния на $TEWI_N$ [5] для рассматриваемых машин можно пренебречь.

Таблица 1

Хладагент	$TEWI_N$	$\Delta TEWI_{э.к}$		$\Delta TEWI_{э.п}$		$TEWI_P$		$\Delta TEWI_{P\ вн}$		$\Delta TEWI_{P\ внеш}$		$TEWI_Q$		$\Delta TEWI_{\Sigma}$		tewi	δ	γ	φ
		abc	%	abc	%	abc	%	abc	%	abc	%	abc	%	abc	%				
MBB3-2-2																			
R404A	337573	30789	9,1	130400	38,6	176384	52,3	14375	4,3	57782	17,1	104225	30,9	161189	47,7	3,24	0,52	0,59	0,31
R407C	210460	30789	14,6	61040	29,0	118631	56,4	18617	8,8	25744	12,2	74269	35,3	91829	43,6	2,83	0,56	0,63	0,35
R410B	290218	30789	10,6	69000	23,8	190429	65,6	16125	5,6	55747	19,2	118556	40,9	99789	34,4	2,45	0,66	0,62	0,41
R134a	167882	30789	18,3	52000	31,0	85092	50,7	10486	6,2	23227	13,8	51379	30,6	82789	49,3	3,27	0,51	0,60	0,31
R22	231825	30789	13,3	60000	25,9	141036	60,8	12594	5,4	40040	17,3	88401	38,1	90789	39,2	2,62	0,61	0,63	0,38
R717	138692	30789	22,2	0	0	107903	77,8	2743	2,0	19639	14,2	85521	61,5	30789	22,2	1,62	0,78	0,79	0,62
2MBB3-2-2																			
R404A	269525	24092	8,9	130400	48,4	115033	42,7	9775	3,6	57782	21,4	47475	17,6	154492	57,3	5,68	0,43	0,41	0,18
R407C	162500	24092	14,8	61040	37,6	77368	47,6	12659	7,8	25744	15,8	38964	24,0	85132	52,4	4,17	0,48	0,50	0,24
R410B	217285	24092	11,1	69000	31,8	124193	57,2	10965	5,0	55747	25,7	57480	26,5	93092	42,8	3,78	0,57	0,46	0,26
R134a	131587	24092	18,3	52000	39,5	55495	42,2	7130	5,4	23227	17,7	25137	19,1	76092	57,8	5,23	0,42	0,45	0,19
R22	176072	24092	13,7	60000	34,1	91980	52,2	8564	4,9	40040	22,7	43375	24,6	84092	47,8	4,06	0,52	0,47	0,25
R717	87270	24092	27,6	0	0	63177	72,4	5195	6,0	19639	22,5	38342	43,9	24092	27,6	2,28	0,72	0,61	0,44
1MKB4-2-2																			
R404A	288005	19565	6,8	130400	45,3	138040	47,9	13225	4,6	57782	20,1	67031	23,3	149965	52,1	4,30	0,48	0,49	0,23
R407C	173447	19565	11,3	61040	35,2	92841	53,5	17128	9,9	25744	14,8	49969	28,8	80605	46,5	3,47	0,54	0,54	0,29
R410B	237597	19565	8,2	69000	29,0	149031	62,7	14835	6,2	55747	23,5	78448	33,0	88565	37,3	3,03	0,63	0,53	0,33
R134a	138159	19565	14,2	52000	37,6	66594	48,2	9647	7,0	23227	16,8	33719	24,4	71565	51,8	4,10	0,48	0,51	0,24
R22	189941	19565	10,3	60000	31,6	110376	58,1	11587	6,1	40040	21,1	58748	30,9	79565	41,9	3,23	0,58	0,53	0,31
R717	95378	19565	20,5	0	0	75813	79,5	7029	7,4	19639	20,6	49144	51,5	19565	20,5	1,94	0,79	0,65	0,52

Примечание. $TEWI_N$ – полный эквивалент глобального потепления; $\Delta TEWI_{э.к}$ – косвенный вклад в $TEWI_N$ от затрат энергии на получение конструкционных материалов, изготовление оборудования, реновацию, обеспечение мер пожаробезопасности; $\Delta TEWI_{э.п}$ – прямой вклад в $TEWI_N$ от эмиссии хладагента и вспенивающих агентов теплоизоляции; $TEWI_P$ – эмиссия CO_2 от энергии, рационально использованной на производство холода; $\Delta TEWI_{P\ вн}$, $\Delta TEWI_{P\ внеш}$ – косвенный вклад в $TEWI_P$ соответственно от внутренней и внешней необратимости процессов в холодильном оборудовании; $TEWI_Q$ – эмиссия CO_2 от части энергии, преобразованной в холод; $\Delta TEWI_{\Sigma}$ – вклад в $TEWI_N$ от эмиссии хладагента, вспенивающих агентов теплоизоляции и затрат энергии на получение конструкционных материалов и изготовление холодильного оборудования; tewi – коэффициент приведенной эмиссии парниковых газов; δ, γ – коэффициенты соответственно прямого и косвенного действия экологической системы; φ – коэффициент эколого-термоэкономического совершенства; abc – абсолютное значение.

Таблица 2

Хладагент	$TEWI_N$	tewi	δ	γ	φ
R404A*	256074	2,46	0,69	0,59	0,41
R407C*	172311	2,32	0,69	0,63	0,43
R410B*	247094	2,08	0,77	0,62	0,48
R134a*	135382	2,63	0,63	0,60	0,38
R22*	194325	2,20	0,73	0,63	0,45
R717*	138692	1,62	0,78	0,79	0,62
R717**	147929	1,73	0,73	0,79	0,58
R717***	159690	2,34	0,69	0,62	0,43

*Установка непосредственного охлаждения.
**Увеличение стоимости установки на 30% (противопожарные мероприятия).
***Установка с промежуточным хладоносителем.

При отсутствии данных о реальном энергопотреблении для холодильных машин на альтернативных хладагентах $TEWI_N$ можно рассчитать по формуле

$$TEWI_N = GWP\,\bar{L} + E_{R22}\frac{E_{ex\,Kali}}{E_{ex\,R22}}N\,\beta + \frac{S_0}{T}\beta + \sum_{i=1}^{n} M_i \Im_i \beta, \quad (5)$$

где GWP – потенциал глобального потепления для данного хладагента; $\bar{L}$ – общая эмиссия хладагента за время работы холодильного оборудования, кг; E_{R22} – потребляемая холодильной машиной (аналогом) мощность, кВт; E_{ex} – эксергия, подведенная к компрессору, использующему в качестве рабочего тела R22 или альтернативный хладагент, кВт; N – время работы машины, ч; S_0 – себестоимость производства холодильного оборудования; T – тариф на электроэнергию, долл. США/(кВт • ч); M_i – масса отдельных элементов холодильной установки, кг; $\Im_i$ – энергетические эквиваленты конструкционных материалов, кВт • ч/кг.

В выполненных расчетах тарифную стоимость электроэнергии приняли равной 0,04 долл. США за 1 кВт • ч, а энергетический эквивалент для стали – 10,35 кВт • ч/кг. С учетом структуры производства электроэнергии в Украине эмиссию CO_2 при выработке 1 кВт • ч оценивали величиной $\beta = 0{,}7$ кг CO_2/(кВт • ч).

В связи с принятыми ранее допущениями, а также с различием в уровне потребляемой мощности для действительного компрессора и реальной холодильной машины значения составляющих $TEWI_N$ будут существенно отличаться. Более того, объемы эмиссии парниковых газов при эксплуатации холодильных машин, использующих один и тот же компрессор и хладагент, не будут одинаковыми (см. табл. 1). Данный вывод подчеркивает широкие возможности применения эколого-термоэкономического метода анализа не только для выбора хладагента, но и при проведении эколого-энергетического аудита и менеджмента для оценки эффективности использования холодильного оборудования.

Анализируя структуру $TEWI_N$, следует отметить, что наибольший вклад в его величину вносят составляющая, характеризующая утечки хладагента (до 48% для R404A), эмиссия от эксергетических потерь в холодильном цикле (до 30% для R410B). Поэтому снижение уровня утечек рабочего тела из машины в случае применения галоидопроизводных хладагентов является реальным фактором уменьшения антропогенного влияния холодильной техники на окружающую среду. Расчеты показывают, что при ограничении уровня утечек хладагента до 5% в год эколого-термоэкономические показатели улучшаются в среднем на 20%. Поэтому государственный контроль за уровнем утечек хладагента должен быть приоритетным направлением в деятельности экологических служб [7].

На $TEWI_N$ заметное влияние оказывает эмиссия диоксида углерода, связанная с затратами энергетических ресурсов на создание оборудования, – $\Delta TEWI_{TK}$. Эту составляющую особенно важно учитывать при оценке перспектив применения пожароопасных и токсичных хладагентов в холодильном оборудовании малой мощности [11].

Из табл. 1 следует, что наиболее высокое качество использования энергетических ресурсов характерно для аммиачных холодильных машин, у которых самый низкий уровень эмиссии диоксида углерода от внутренних и внешних энергетических потерь, полностью отсутствует прямой вклад в $TEWI_N$ в связи с утечками аммиака при эксплуатации оборудования. Вследствие этих обстоятельств энергетические ресурсы используются с экологической точки зрения наиболее рационально. Так, $TEWI_Q$ для аммиачных машин достигает 60% $TEWI_N$, в то время как для холодильного оборудования на озонобезопасных галоидопроизводных хладагентах $TEWI_Q$ не превышает 40%. Таким образом, общая экологическая нагрузка на окружающую среду, которую в интегральной форме отражает $TEWI_N$, для аммиачных машин существенно ниже, чем для других хладагентов. Коэффициент эколого-термоэкономического совершенства для машин, работающих на NH_3, почти в 2 раза выше, чем для оборудования, в котором применяются R22, R404A, R407C и R410A.

Вместе с тем реализация мероприятий по обеспечению пожаробезопасности холодильной установки увеличивает ее стоимость на 30% [10], а наличие контура с хладоносителем не только повышает стоимость приблизительно на 60%, но и приводит к весьма значительному (до 25%) возрастанию потребляемой мощности. Выполненные в рамках эколого-термоэкономического метода анализа расчеты показывают, что даже такое значительное повышение стоимости холодильного оборудования с промежуточным хладоносителем и понижение его эффективности не в состоянии изменить позитивной оценки перспектив применения аммиака, что наглядно демонстрирует табл. 2, где приведены значения эколого-термоэкономических характеристик для холодильной машины МВВ3-2-2 при 5%-ном уровне утечек хладагента.

Таким образом, исследование показывает, что при экологической оценке целесообразности применения определенного хладагента необходимо рассчитывать полный эквивалент глобального потепления, учитывая все вклады в $TEWI_N$ от энергетических затрат, связанных с получением искусственного холода.

В рамках эколого-термоэкономического метода анализа при рассмотрении максимально реалистичной модели холодильной машины выявлено, что новое поколение аммиачного холодильного оборудования будет оказывать существенно меньшее антропогенное влияние на окружающую среду по сравнению с холодильными машинами, использующими галоидопроизводные хладагенты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бродянский В.М., Фратшер В., Михалек К.* Эксергетический метод и его приложения/Под. ред. В.М.Бродянского. - М.: Энергоатомиздат, 1988.

2. *Железный В.П., Лысенко О.В.* Эколого-энергетический анализ перспектив замены R22 альтернативными хладагентами//Холодильная техника. 1999. № 5.

3. *Железный В.П.* Принципы эколого-термоэкономического анализа эффективности холодильного оборудования при переходе на новые озонобезопасные хладагенты//Вестник международной академии холода. 2000. Вып. 1.

4. *Основский В.В.* Моделирование и оптимизация холодильных установок: Уч. пособие. - Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1990.

5. *Энергоэкологическая* эффективность компрессорных агрегатов при работе на традиционных и альтернативных хладагентах/Г.К.Лавренченко, И.В.Волобуев, П.В.Железный, О.В.Лысенко// Холодильная техника и технология. 1999. Вып. 62.

6. *Chumak I.G., Onisthcenko V.P., Zhelezny V.P.* et al. New class of Lubricant Oils Soluble in ammonia // Preprints Joint meeting of the Int. Institute of Refrig. Section Band E «Natural Working Fluids'98» June 2-5, 1998, Oslo, Norway.

7. *Dijkstra E., van de Velcle T.* How natural is cold in 2010? A global assessment of opportunities to use natural refrigerants in mechanical refrigeraion between 2000 and 2010 in the Netherlands // Paper was presented at 20th Int. Congress of Refrigeration IIR/IIF, Sidney, Australia.

8. *Douglas J.D., Braun J.E., Groll E.A., Tree D.R.* A cost-based method for comparing alternative refrigerants applied to R22 systems // Int. J. Refrig. 1999. №22.

9. *NH$_3$* – Joolermoglicht Irochenenexpansion und Fullmengenreduzierung// Kalte-und Klimatechn. 1992.- 45, №11.

10. *Keller F.T., Sullivan J., Liang H.* Assessment of propan in North American residential Air Conditioning // Proc. 1996 Int. Refrig. Conf. U.S., Purdue Univ., 1996.

11. *Zhelezny V.P., Zhidkov V.V.* Ecological Safety of Natural Refrigerants in Domestic Refrigerating Equipment: Illusions and Reality // Proc. 1998 Int. Refrig. Conf. at Purdue. - Purdue (USA): Purdue Univ. 1998.

Alfa Laval

Пластинчатые теплообменники «Альфа Лаваль»

Канд. техн. наук **С.С.СОРОКИН**
«Альфа Лаваль Поток»

Широкое применение пластинчатых теплообменников в качестве элементов холодильных систем – испарителей, конденсаторов – началось во время энергетического кризиса в 1976 г.

К этому периоду в результате проведенных компанией «Альфа Лаваль» лабораторных исследований были получены корреляционные отношения, позволяющие достоверно описывать теплообмен и гидравлические характеристики двухфазного потока в каналах теплообменника.

Уже в 1984 г. пластинчатые теплообменники начали применяться в тепловых насосах и системах холодоснабжения.

Размеры пластинчатых теплообменников в сравнении с кожухотрубными позволяют создавать более компактные системы (рис. 1). Дополнительное уменьшение габаритов и массы, снижение стоимости монтажных работ могут быть достигнуты объединением испарителя, конденсатора и форконденсатора на одной раме (рис. 2).

Небольшой внутренний объем пластинчатых теплообменников позволяет уменьшить количество хладагента в системе и способствует эффективному удалению инертных газов.

Благодаря высоким значениям коэффициента теплопередачи пластинчатые теплообменники могут эффективно работать при степени циркуляции 1,2–1,5, что соответствует безнасосной системе подачи хладагента типа "термосифон".

Вместе с тем использование небольшого насоса позволяет применять меньший пластинчатый теплообменник в сравнении с термосифоном.

Обслуживание и гибкость конструкции

Полусварной теплообменник может быть относительно просто разобран для ревизии и очистки. Химическая очистка таких аппаратов очень эффективна благодаря высокой степени турбулентности потока в каналах. Небольшой внутренний объем теплообменника позволяет обеспечить его быструю очистку при использовании малого количества растворов.

Пластинчатый теплообменник представляет собой гибкую конструкцию, поэтому изменение нагрузки, замена хладагента или изменения температурного режима могут быть компенсированы изменением числа кассет.

Пластинчатые теплообменники можно последовательно собирать на месте, например при их установке в глубоких шахтах с небольшим размером проходов.

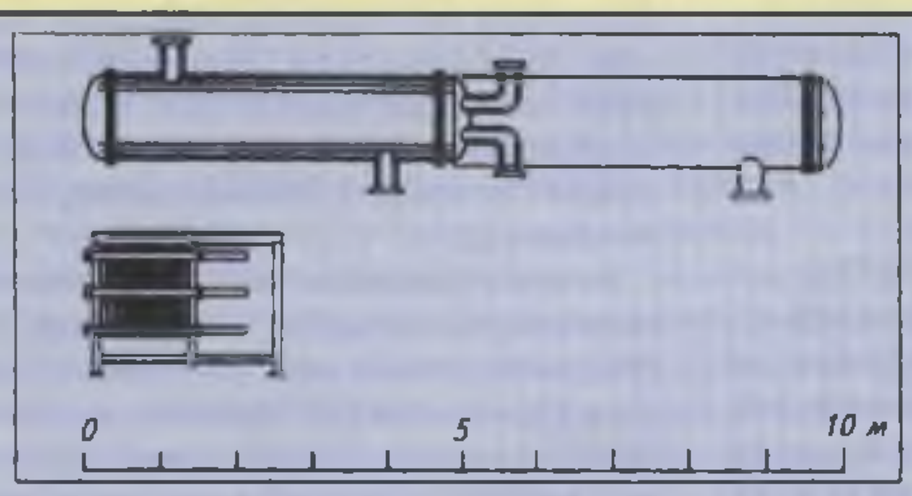


Рис. 1. Сравнительные размеры пластинчатого и кожухотрубного испарителей

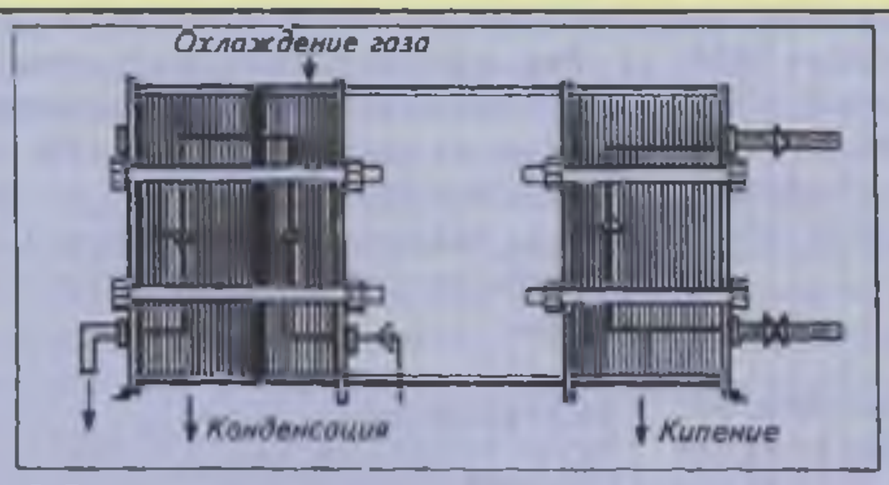


Рис. 2. Вариант конструктивного исполнения полусварного пластинчатого теплообменника

Материалы

Наиболее часто применяемые материалы для пластин – это AISI 304, 316 или Титан, а также различные сплавы.

Стандарты «Альфа Лаваль» – кассеты из стали AISI 316.

Титановые кассеты применяются в тепловых насосах, использующих морскую воду; в системах охлаждения шахт; в системах морского базирования; в пищевой промышленности, где хладоносителями являются коррозионноактивные вещества.

В химической промышленности часто используют редкие сплавы.

Риск замерзания

Цель исследования – определить, как в условиях начала кристаллизации (вблизи точки замерзания) можно управлять системой, с тем чтобы получить возможность использовать теплоту фазового перехода.

Результаты экспериментов (рис. 3.) позволяют сделать следующие выводы:

- блокировка каналов из-за кристаллизации воды при снижении температуры кипения практически невозможна, если поддерживается постоянная циркуляция воды;
- даже если вода циркулирует в частично замороженных каналах, система может быть быстро возвращена в нормальное состояние при повышении температуры кипения;
- при полном замерзании каналов, что может наступить в результате прекращения циркуляции воды, не следует опасаться разрушения пластин и прокладок;
- интенсивность образования льда внутри аппарата в значительной степени зависит от уровня турбулизации потока и напряжения вязкостных сил на стенке канала.

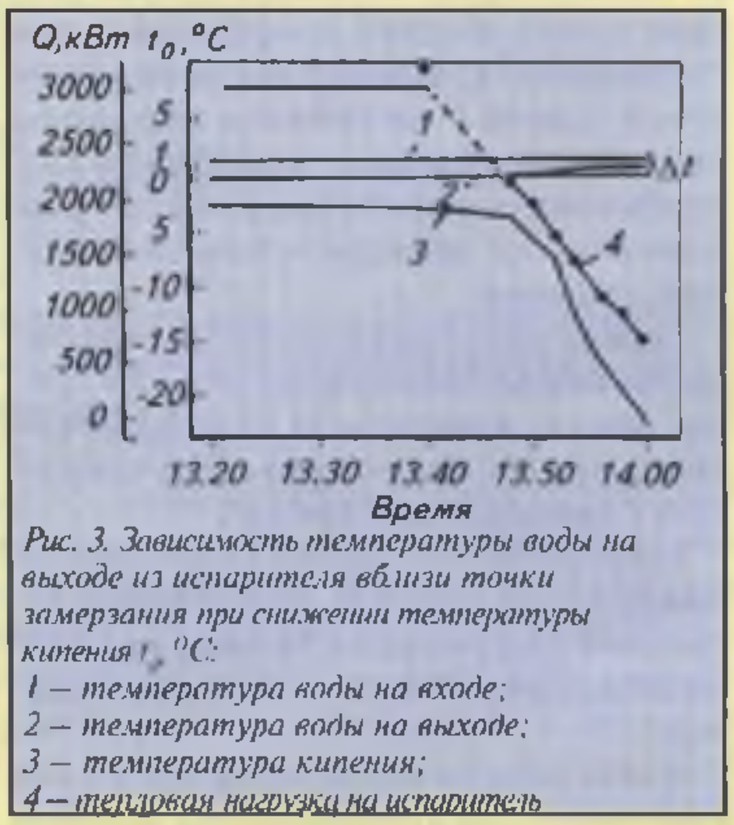


Рис. 3. Зависимость температуры воды на выходе из испарителя вблизи точки замерзания при снижении температуры кипения t_0, °C:
1 – температура воды на входе;
2 – температура воды на выходе;
3 – температура кипения;
4 – тепловая нагрузка на испаритель

В целом благодаря высоким значениям коэффициента теплопередачи пластинчатый теплообменник может работать при относительно малой разности температур потоков, а следовательно, риск замерзания существенно снижается.

Конструктивные особенности

Полусварной пластинчатый теплообменник собирается из кассет, гофры которых направлены встречно. В результате кассеты соприкасаются во множестве точек пересечения гофр. Максимальное

Миколаївська державна обласна бібліотека ім. Олександра Гаврильова

расстояние между точками контакта не превышает 10 мм. Такая конструкция позволяет обеспечить относительную жесткость пакета пластин. Вместе с тем пакет пластин полусварного теплообменника обладает достаточной степенью свободы и в ряде случаев проявляет свои "мягкие" свойства, позволяя гасить гидроудары и колебания. Именно это свойство предохраняет теплообменник от разрушений при замерзании хладоносителя.

При расчете и эксплуатации трубчатых теплообменников особое внимание должно быть уделено обеспечению устойчивости конструкции к автоколебаниям, вызываемым расходами взаимодействующих сред.

Устойчивость пластинчатых полусварных теплообменников в отличие от кожухотрубных к автоколебаниям и вибрациям позволяет применять их на таких объектах, как атомные станции или установки морского базирования.

Пластинчатые теплообменники «Альфа Лаваль» разрешены к применению практически во всех странах мира. В России помимо сертификатов соответствия такие теплообменники получили разрешение ГОСГОРТЕХНАДЗОРА на применение в аммиачных холодильных системах.

Работа в качестве испарителя и конденсатора

Гофрированные пластины обеспечивают высокую турбулизацию потоков и, следовательно, высокий коэффициент теплопередачи. Возникают высокие напряжения сдвига – напряжения вязкостных сил, обеспечивающие способность теплообменника к самоочищению. В то же время они не приводят к большим потерям давления.

Переохлаждение конденсата в пластинчатом теплообменнике достигается проще, чем в кожухотрубном, благодаря противотоку и постоянному контакту конденсата с охлаждающей средой.

Если требуется значительное переохлаждение конденсата, используется отдельный пластинчатый теплообменник с индивидуальной системой регулирования.

В компактном и высокоэффективном пластинчатом конденсаторе должны быть реализованы в чистом виде противоток, высокое значение коэффициента теплопередачи и малая степень загрязнения.

При этом температура конденсата может быть очень близка к температуре охлаждающей среды (2...3 °С), что оказывает позитивное влияние на производительность установки в целом.

Пластинчатый теплообменник может быть использован в качестве испарителя. Высокие турбулентность потока и напряжения вязкостных сил обеспечивают:

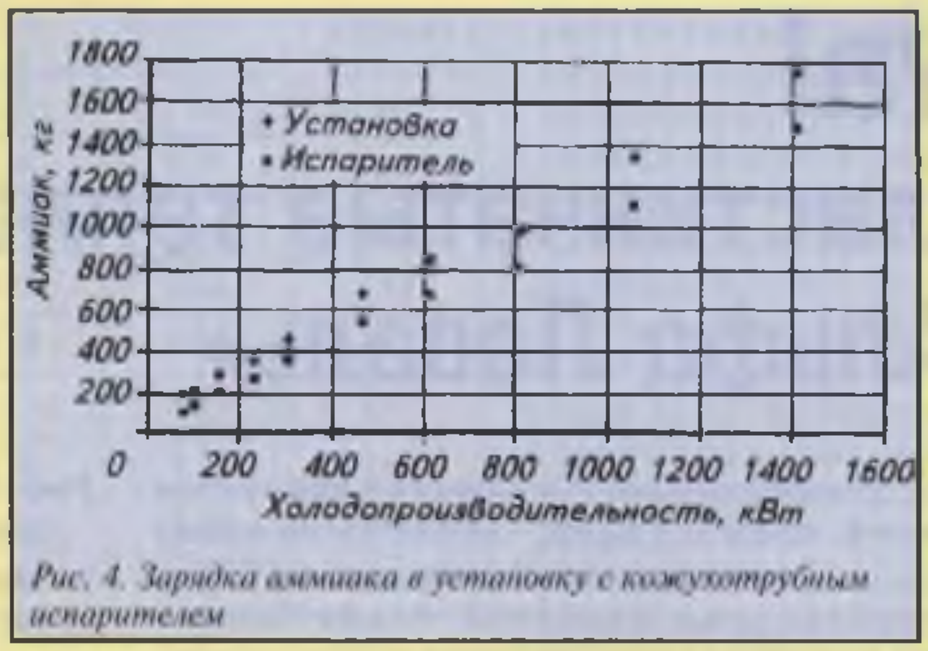


Рис. 4. Зарядка аммиака в установку с кожухотрубным испарителем

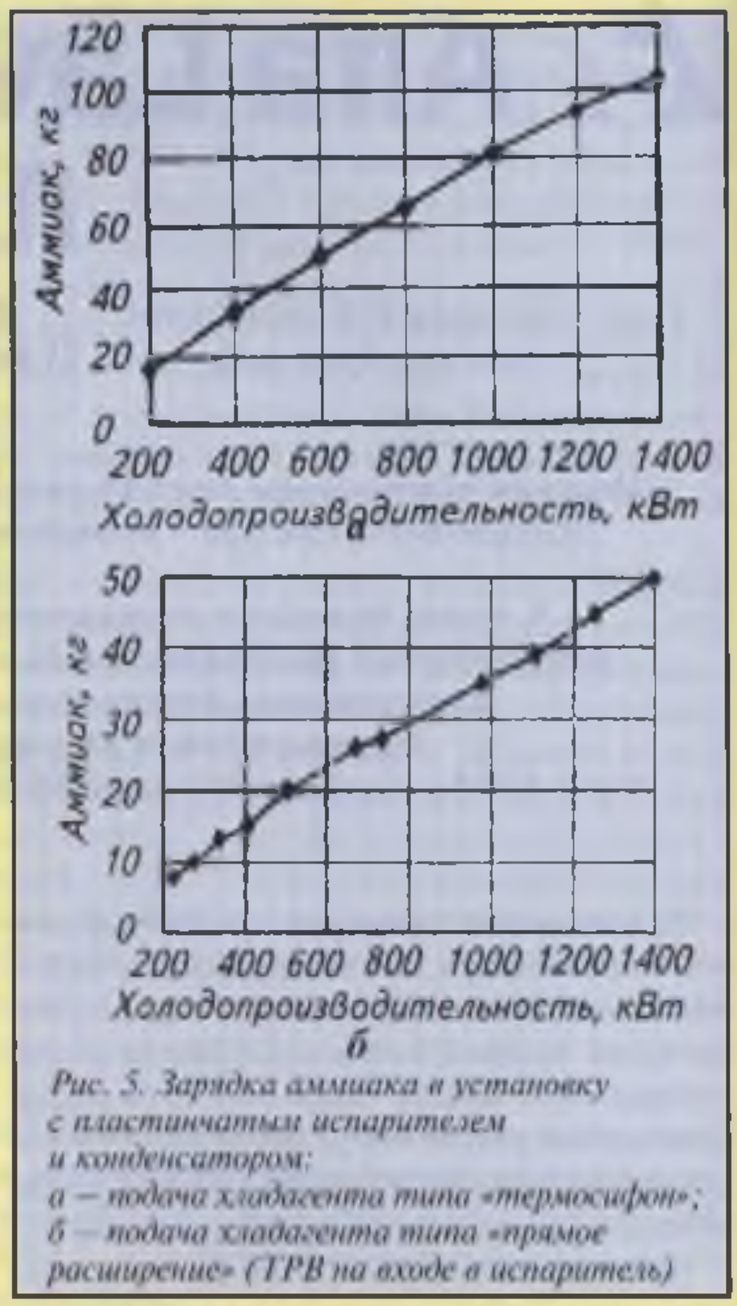


Рис. 5. Зарядка аммиака в установку с пластинчатым испарителем и конденсатором:
а — подача хладагента типа «термосифон»;
б — подача хладагента типа «прямое расширение» (ТРВ на входе в испаритель)

• надежное регулирование производительности;

• относительно высокие значения коэффициентов теплопередачи как в зоне предварительного нагрева, так и в зоне перегрева в системах с ТРВ (прямое расширение). При этом потеря давления в области перегрева невысока;

• гомогенность потока, что повышает эффективность переноса пара, масла и, если присутствуют, то и инертных газов, которые, скапливаясь, могут вносить дополнительное тепловое сопротивление. Гомогенность потока способствует также развитию пленочного кипения, что, в свою очередь, значительно увеличивает теплопередачу;

• высокие значения коэффициента теплопередачи при использовании гликолей, этанола, хлорида кальция, а также масла;

• низкую степень загрязнения;

• возможность работы при высоких температурах кипения.

Пластинчатые полусварные теплообменники хорошо зарекомендовали себя в системах охлаждения с термосифоном, а также в системах прямого расширения.

Общий объем хладагента в системе охлаждения, где использованы пластинчатые теплообменники, значительно ниже, чем в системах с кожухотрубными теплообменниками (рис. 4, 5).

Масло

В аммиачных системах небольшое количество масла может скапливаться на входе в теплообменник-испаритель, поэтому применяют дренаж в самой нижней точке. Однако в ряде случаев вполне достаточно той циркуляции, которую обеспечивает пластинчатый теплообменник благодаря высоким значениям напряжения вязкостных сил и турбулизации потока. При нормальной концентрации масла – около 1–2 % – получено максимальное значение коэффициента теплопередачи при паросодержании на выходе из теплообменника 0,7.

Чиллеры

Преимущества пластинчатых теплообменников позволяют создавать на их базе современные высокоэффективные охлаждающие машины с заправкой небольшого количества хладагента – чиллеры, которые применяются в системах с хладоносителем. Сегодня такие компании, как York, Trane, Carrier, Mycom, Dakin, Grasso и т.д., широко используют в своих чиллерах теплообменники «Альфа Лаваль».

В настоящее время компания «Альфа Лаваль» предлагает российским разработчикам и производителям холодильной техники шире использовать преимущества пластинчатых теплообменников. Уже установлены и успешно работают полусварные теплообменники в качестве испарителей на Черкизовском, Бирюлевском, Новгородском мясокомбинатах, ряде пивоваренных заводов; в качестве конденсаторов – в компании "Браво" (Санкт-Петербург), Ногинском хладокомбинате и др.

Успешно развивается сотрудничество с московским заводом "Компрессор" по созданию аммиачных холодильных машин дозированной заправки в рамках Московской программы по модернизации крупных аммиачных систем холодоснабжения объектов столицы. Продолжаются испытания полусварного пластинчатого теплообменника во ВНИХИ.

Расширение применения таких аппаратов позволило начать их производство в России, на заводе «Альфа Лаваль Поток» (г. Болшево Московская обл.), что, безусловно, сказалось положительно на стоимости теплообменников и сроках их поставки.

ОАО «Альфа Лаваль Поток»
Россия, Московская область, 141070,
г. Королев, Советская 73.
Тел.: (095) 232-12-50. Тел/факс: (095) 232-25-73.

НОВЫЕ МАСЛООХЛАДИТЕЛИ МОХ: СОЧЕТАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Канд. техн. наук **Н.В.ТОВАРАС** *ООО НПФ «Химхолодсервис»*,
канд. техн. наук **В.П.ЕЛЬЧИНОВ**, канд. техн. наук **А. Л.ШУЯКОВ** *ОАО «Криогенмаш»*

Научно-производственная фирма «Химхолодсервис» совместно с фирмами HOWDEN и SES International организует сборочное производство аммиачных винтовых компрессорных агрегатов. При этом фирма «Химхолодсервис» будет изготовлять значительную часть комплектующих (маслоохладители, маслосепараторы, маслонасосы, фильтры и т.д.). Естественно, их конструкция и технические характеристики должны отвечать мировому уровню.

На энергетические характеристики и ресурс винтового холодильного агрегата существенно влияет эффективность работы маслоохладителя. Основная функция этого аппарата – поддержание в заданном интервале значений температуры масла, от которой напрямую зависят его вязкость, а следовательно, смазывающие и уплотняющие свойства.

Специфика теплоносителей, участвующих в теплообмене в маслоохладителе (с одной стороны, вода, которая имеет высокую теплопроводность и может загрязнять поверхность теплообмена из-за отложений твердой фазы, с другой стороны, масло – вязкая жидкость с небольшой теплопроводностью), предъявляет противоречивые требования к конструкции эффективных теплообменных аппаратов этого класса. Первое требование – разреженность теплообменного пространства, что связано с необходимостью очистки поверхности аппарата по воде, второе – высокая компактность поверхности в сочетании с сильными интенсифицирующими воздействиями на теплоотдачу при движении масла.

Традиционно применяемые для этой цели кожухотрубные аппараты с сегментными перегородками не вполне отвечают этим теплотехническим требованиям. Качество отечественных систем водоподготовки не позволяет применять в этих аппаратах трубы с внутренним диаметром менее 15 мм. Следовательно, габариты таких аппаратов велики. Кроме того, они имеют ряд конструкционных недостатков. Наличие зазоров между трубами и перегородками, перегородками и кожухом приводит к байпасным перетечкам масла, что ухудшает его теплоотдачу. Так, технологические зазоры между трубами и перегородками в 1 мм снижают интенсивность теплоотдачи в 1,6 раза по сравнению с теплоотдачей при «плотно посаженном» пучке труб. На практике же и такой зазор не выдерживается. Попытки решить эту проблему нетрадиционным способом, путем использования пластмассовых сегментных перегородок, привели к массовым отказам – «оплавлению» перегородок и выходу аппаратов из строя. На наш взгляд, теплогидравлические возможности этих теплообменников исчерпаны. Для дальнейшего снижения массы и габаритных размеров требуются более эффективные технические решения.

Исходя из вышесказанного научно-производственной фирмой «Химхолодсервис» освоено производство нового маслоохладителя МОХ, где сегментные перегородки заменены системой каналов с развитой поверхностью теплообмена для движения масла.

Теплообменные элементы маслоохладителя МОХ (рис.1) представляют собой коаксиально расположенные трубы, образующие кольцевые каналы [1]. Каналы заполнены насадкой (развитая поверхность теплообмена),играющей роль оребрения и турбулизатора. Плотное прилегание насадки к трубам обеспечено натягом. Движение теплоносителей прямоточно-противоточное (масло – между трубами по насадке, вода – внутри внутренних труб и снаружи наружных).

Для создания новой конструкции маслоохладителя потребовалось провести экспериментальные исследования теплоотдачи и гидродинамического сопротивления его теплообменных элементов при движении вязкой жидкости (масла) с целью получения обобщенных зависимостей, необходимых для расчета работы аппаратов на различных режимных параметрах, оценки влияния контактного термического сопротивления соединения «насадка – труба» и схемы движения теплоносителей.

Экспериментальная установка представляла собой замкнутый циркуляционный контур. В качестве горячего теплоносителя использовали смесь турбинного Тп-22 и компрессорного Кп масел, в качестве холодного – воду.

Теплофизические свойства смеси масел вычисляли согласно закону аддитивности (кроме вязкости). Они описываются следующими зависимостями:

удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)

$c_p = 1851+3{,}628t$;

плотность, кг/м^3

$\rho = 891{,}665 - 0{,}666t$;

теплопроводность, Вт/(м·К)

$\lambda = 0{,}1432 - 0{,}715 \cdot 10^{-3}t$,

где t – температура, °С.

Коэффициент кинематической вязкости определяли экспериментально при различных температурах в интервале 25...80 °С.

Он описывается зависимостью, м^2/с:

$\nu = (72{,}052 - 1{,}8379t + 1{,}331 \cdot 10^{-3}t^2) \cdot 10^{-6}$.

Опытные модели маслоохладителя представляли собой кожухотрубные теплообменники «труба в трубе». Они состояли из трех коаксиальных труб диаметром 18×1,5; 34×2 и 70×2 мм длиной по 1500 мм каждая. Масло проходило по кольцевому пространству между первой и второй трубами, заполненному насадкой. Исследовали две модели с различной степенью натяга насадки (100 и 3000 Н). Каждую модель исследовали при трех вариантах подвода охлаждающего теплоносителя (воды):

внутри внутренней трубы;

снаружи наружной трубы;

снаружи наружной трубы, а затем внутри внутренней.

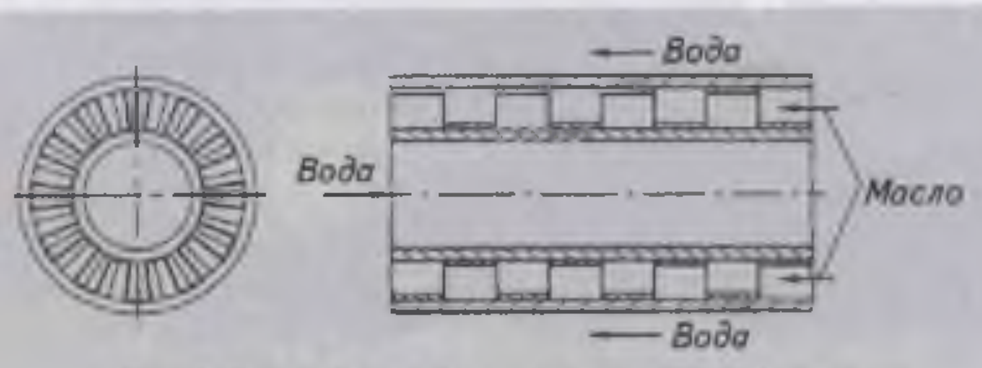


Рис. 1. Теплообменный элемент маслоохладителя

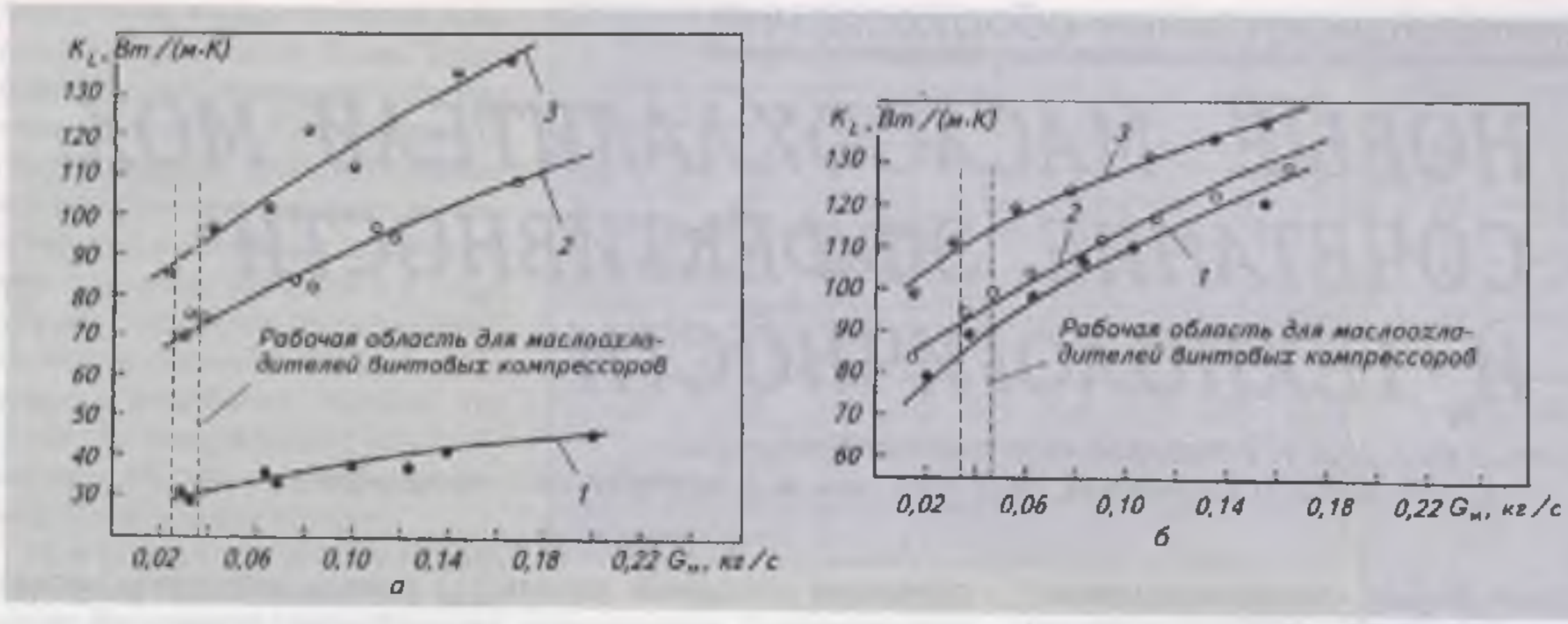


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопередачи K_L от массового расхода масла $G_м$ в маслоохладителях с силой натяга 100 Н (а) и 3000 Н (б):
1 – вода внутри;
2 – вода снаружи;
3 – вода внутри и снаружи

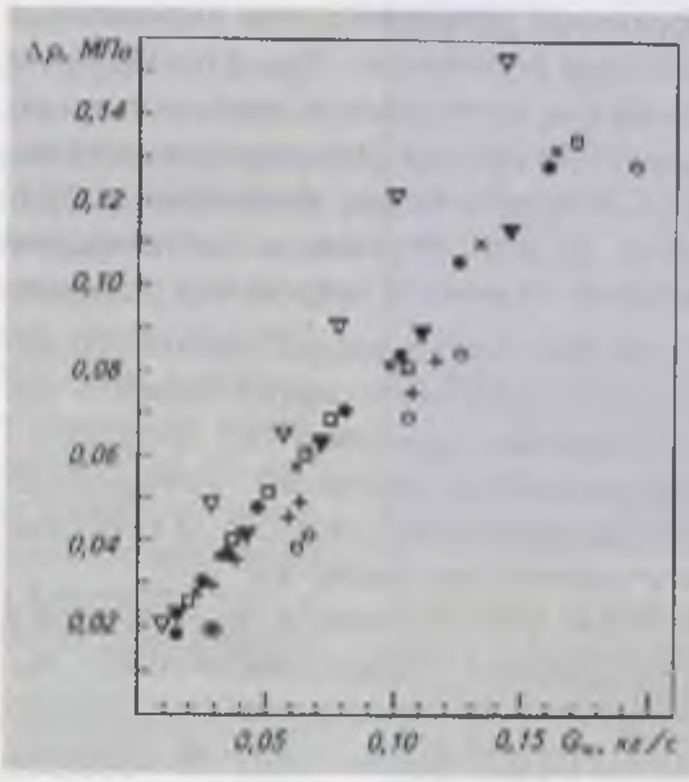


Рис. 3. Зависимость гидравлического сопротивления Δp маслоохладителей от массового расхода масла $G_м$ при различных силах натяга и схемах движения воды (обозначения схем см. рис. 2):
○ – 100 Н (схема 1);
+ – 100 Н (схема 2);
□ – 100 Н (схема 3);
● – 300 Н (схема 1);
× – 3000 Н (схема 2);
▽ – 3000 Н (схема 3)

Теплоотдачу исследовали методом энтальпий. По измеренным режимным параметрам (расходы масла и воды, температуры масла и воды на входе и выходе) вычисляли коэффициенты теплопередачи моделей, которые (при неизменных параметрах воды на входе в модель) позволяли судить о влиянии на теплообмен термического сопротивления места контакта и схемы подвода охлаждающего теплоносителя. Коэффициенты теплоотдачи со стороны масла, которые необходимы для получения обобщенных зависимостей, определяли численно. При этом теплоотдачу со стороны воды вычисляли по известным зависимостям (например [2], для течения в круглой трубе и кольцевом канале). Коэффициенты гидродинамического сопротивления находили на основании измеренных перепадов давлений на моделях.

Значения коэффициентов теплопередачи, отнесенные к единице длины исследованных моделей, представлены на рис.2. Во всех случаях расход и температура воды на входе были неизменными.

Для модели с силой натяга 100 Н («слабый натяг») схема движения теплоносителей играет значительную роль (рис.2, *а*). Подвод охлаждающего теплоносителя (воды) снаружи позволяет увеличить коэффициент теплопередачи в 2–3 раза. На наш взгляд, это объясняется двумя причинами: во–первых, снижением термического сопротивления из-за уменьшения зазоров между насадкой и наружной трубой (так, в случае, когда вода движется внутри, труба «сжимается» на 8 мкм относительно насадки, что приводит к ухудшению теплопередачи, при подаче воды снаружи наружная труба «сжимается» на 13 мкм, обжимая насадку, что приводит к улучшению теплопередачи); во-вторых, увеличением примерно в 2 раза основной поверхности теплообмена. При движении воды внутри и снаружи коэффициент теплопередачи возрастает еще в 1,4–1,6 раза. Очевидно, что вклад в это вносят увеличение основной поверхности теплообмена за счет внутренней трубы, а также КПД ребра, так как его высота уменьшается вдвое.

Для модели с силой натяга 3000 Н («сильный натяг») влияние схемы движения теплоносителей не столь значительно (рис. 2, *б*). Все три кривые, характеризующие зависимость коэффициента теплопередачи от массового расхода масла, располагаются в доверительном интервале ± 25%. Таким образом, сила натяга играет важнейшую роль в теплопередаче и должна быть обеспечена технологически.

Данные по теплопередаче показывают, что при среднем температурном напоре, равном 20 °С, и объемном расходе масла 3,3 л/мин (параметры, характерные для работы маслоохладителей винтовых агрегатов) теплообменный элемент длиной 1 м обеспечивает тепловой поток более 2000 Вт, что является высоким показателем.

Данные по гидравлическому сопротивлению в исследованных моделях представлены на рис. 3. Расхождение опытных данных для различных моделей и схем движения теплоносителей незначительно и объясняется просто: чем интенсивнее теплопередача в модели, тем ниже средневзвешенная температура масла, а следовательно, больше его вязкость и сопротивление.

На основании вышеприведенных опытных данных были получены и численно аппроксимированы обобщенные коэффициенты теплоотдачи и гидравлического сопротивления со стороны масла, которые были положены в основу алгоритма и программы PROGMOX расчета аппаратов на любые режимные параметры, которая учитывает в том числе различные значения термического сопротивления загрязнений в зависимости от качества систем водоподготовки у заказчика.

Результаты исследований и расчетов были использованы при создании маслоохладителей МОХ на 120 и 90 кВт (табл. 1, рис. 4).

Маслоохладитель МОХ представляет собой трехпоточный кожухотрубный теплообменник. Движение теплоносителей прямоточно-противоточное. Аппараты, одноходовые по маслу и двухходовые по воде, имеют четыре трубные решетки, две масляные и три водяные полости. Диаметр условного прохода внутренних труб теплообменных элементов составляет 15 мм, что позволяет легко осуществлять их очистку. Межтрубное пространство достаточно разреженное (эквивалентный диаметр проходов от 20 до 40 мм), что обеспечивает длительную эксплуатацию их без очистки. Сборка теплообменных элементов маслоохладителей МОХ селективная – тщательно контролируется величина натяга насадки между трубами, определяющего термическое сопротивление контакта. Требования к сборке «криогенные» – аргонно-дуговая сварка с предварительной развальцовкой труб в трубных решетках. Особые требования к чистоте – предварительная обработка труб и корпусов (обезжиривание, протирка), что исключает попадание механических примесей и грязи в масляные полости.

Сравнение маслоохладителей МОХ с кожухотрубными ана-

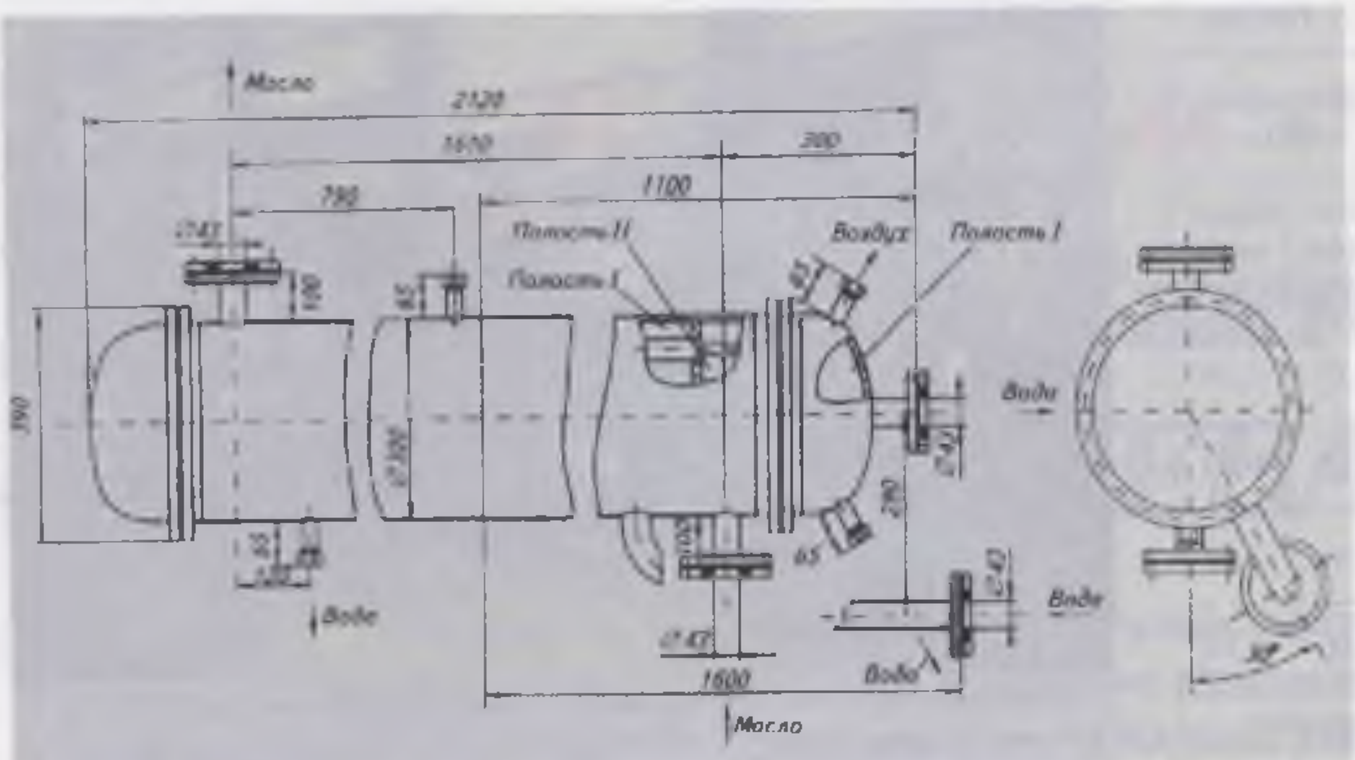


Рис. 4. Маслоохладитель МОХ36-300-1,5

логами, имеющими сегментные перегородки, показывает, что при одинаковых режимных параметрах габариты и масса разработанных маслоохладителей примерно в 2 раза меньше. В 5 раз меньше вместимость по маслу, что является их преимуществом.

Результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ позволяют сделать вывод о высокой эффективности маслоохладителей МОХ. Однако окончательное суждение об этом, а также об эксплуатационной надежности их тепловых и гидравлических показателей могли бы дать только долговременные испытания в составе действующих винтовых компрессорных агрегатов.

Промышленные испытания маслоохладителей сотрудники НПФ «Химхолодсервис» провели на штатных аммиачных компрессорных агрегатах 21А410-7-3 на Московском рыбокомбинате – ЗАО "Меридиан" (первый опытный двухпоточный маслоохладитель) и 21А280-7-3 на Санкт-Петербургском хладокомбинате № 7 (трехпоточный маслоохладитель МОХ. выпускаемый в настоящее время).

Конструкция первого маслоохладителя, испытанного на ЗАО "Меридиан", отличалась от окончательной конструкции МОХ, показанной на рис. 4. Дело в том, что его конструирование и изготовление были начаты на ранней стадии экспериментальных исследований, когда основные результаты еще не были получены. Поэтому наш первый опытный маслоохладитель был двухпоточным, без кожуха, содержал 56 теплообменных элементов (труб) и, естественно, имел большие габариты и массу. В дальнейшем, в связи с появлением более рациональных конструктивных идей, эта конструкция не была

Таблица 1

Параметры	МОХ 36-300-1,5 (для А350)	МОХ 18-200-2,0 (для А280)
Режимные параметры		
Объемный расход, л/мин масла воды	 120 225	 90 180
Температура, °С масла на входе на выходе воды на входе	 85 55 25	 85 55 25
Давление, МПа масла (max) воды (max)	 4 2	 4 2
Перепад давлений по маслу (max), МПа	0,05	0,08
Тепловой поток, кВт	120	90
Конструктивные параметры		
Диаметр, мм	325	219
Длина, м	2,1	2,6
Число труб	36	18
Диаметр подсоединительных патрубков, мм	40	40
Масса, кг	280	180

запущена в серию.

В ходе промышленных испытаний регистрировали расходы масла и воды (соответственно турбинный расходомер ППТ-32/6,4, кл. точности 0,25, с вторичным прибором ВП-1 и турбинный расходомер ППО 40-0,6СУ, кл. точности 0,25), входные и выходные температуры масла и воды (цифровые электронные термометры ТМТ7-3, кл. А, с вторичным прибором Щ-455, лабораторные термометры ТЛ-4 с ценой деления 0,1 °С), давления и перепады давлений по маслу и воде (образцовые манометры МТИ-1218-16кгс/см² –0,6 и МТИ-1218-10кгс/см² –0,6).

В табл. 2 представлены результаты нескольких серий испытаний маслоохладителя МОХ 36×300×1,5 на Санкт-Петербургском хладокомбинате № 7.

Анализ опытных данных показывает, что величина, характеризующая эффективность аппарата, $Q/\Delta t_л = k F$ (тепловой поток, приходящийся на 1 °С температурного напора) в первой серии испытаний составляла 3,8...4,0 кВт/°С, а во второй серии испытаний – 2,6...2,8 кВт/°С, т. е. примерно на 30 % ниже. Гидравлическое сопротивление по воде

Стенд для испытаний первого опытного двухпоточного маслоохладителя на Московском рыбокомбинате – ЗАО «Меридиан»

Стенд для испытаний трехпоточного маслоохладителя МОХ 36-300-1,5 на Санкт-Петербургском хладокомбинате № 7

Таблица 2

Режим	Объемный расход, л/мин		Температура*, °С		Давление*, МПа		Перепад давлений, МПа		Давление, МПа	
	масла	воды	масла	воды	масла	воды	масла	воды	нагнетания	всасывания
Первая серия испытаний (сразу после установки маслоохладителя)										
1	124	168	48,4 / 33,8	24,1 / 29,9	1,53 / 1,50	0,20 / 0,175	0,03	0,025	0,84	0,04
2	123	155	50,4 / 34,5	24,5 / 30,2	1,53 / 1,50	0,20 / 0,175	0,03	0,025	0,86	0,04
3	123	154	51,1 / 35,6	24,8 / 30,7	1,54 / 1,51	0,20 / 0,175	0,03	0,025	0,88	0,04
4	123	157	52,6 / 36,8	25,4 / 31,9	1,54 / 1,51	0,20 / 0,175	0,03	0,025	0,90	0,04
Вторая серия испытаний (после эксплуатации в течение 6 мес)										
1	136	169	46,8 / 36,0	23,4 / 28,0	1,39 / 1,35	0,18 / 0,15	0,04	0,065	0,72	0,09
2	136	168	46,9 / 36,2	23,7 / 28,2	1,38 / 1,34	0,18 / 0,15	0,04	0,065	0,72	0,09
3	136	170	47,7 / 36,8	24,2 / 28,8	1,39 / 1,35	0,18 / 0,15	0,04	0,065	0,72	0,09

*В числителе – на входе в маслоохладитель, в знаменателе – на выходе из него.

увеличилось после шестимесячной эксплуатации в 2,6 раза. Все это объясняется отложениями водяного камня на поверхности труб, что было подтверждено визуально после снятия крышек. Отложения на внутренних стенках труб и трубных решетках вследствие высокого содержания биологических составляющих солей кальция, магния, железа представляли собой рыхлую массу толщиной 1,5...2 мм с многочисленными пирамидальными шипами высотой 4...6 мм.

Однократная химическая очистка водяной полости МОХ раствором очистителя «BRITE BOWL PLUS» 10%-ной концентрации в течение 8 ч с последующей промывкой водой позволила восстановить первоначальные тепловые и гидравлические характеристики маслоохладителя.

Вместе с тем увеличения гидравлического сопротивления масляной полости после шестимесячной эксплуатации не обнаружено, что подтвердило сделанный до испытаний вывод о том, что насадка не является объектом для твердых отложений из масла.

Как видно из табл. 2, маслоохладитель испытывали в условиях, отличных от расчетных, – при более низких температурных напорах (логарифмический напор $\Delta t_л \approx 15$ °С) и, следовательно, тепловых нагрузках.

Проведем пересчет полученных опытных данных на расчетные условия (см. табл.1). При средней температуре 70 °С вязкость масла уменьшится по сравнению с условиями испытаний вдвое ($22{,}5 \cdot 10^{-6}$ вместо $45 \cdot 10^{-6}$ м²/с). Вдвое возрастет число Рейнольдса. Пропорционально $Re^{0{,}33}$, т. е. на 27%, повысится коэффициент теплоотдачи со стороны масла, на 20% – коэффициент теплопередачи. Следовательно, величина $Q/\Delta t_л = k\,F$ также возрастет на 20% и будет равна для «чистого» маслоохладителя МОХ 4,6...4,8 кВт/°С; для загрязненного – 3,1...3,4 кВт/°С. При этом тепловая нагрузка составит соответственно 185...193 и 125...137 кВт.

Таким образом, даже в загрязненном состоянии маслоохладитель МОХ 36×300×1,5 в расчетном режиме будет обеспечивать минимальный тепловой поток 125 кВт, т. е. выше необходимого для агрегатов 21А410-7-1 (7-3, 2-1, 2-3), 2А350-7-1 (7-3, 2-3, 2-1).

Испытания подтвердили высокую эффективность маслоохладителя. Аппарат имеет большой запас по тепловому потоку, способен долговременно сохранять высокую интенсивность

Винтовые компрессорные агрегаты с маслоохладителями МОХ, выпускаемые НПФ "Химхолодсервис"

Монтаж на производственной базе «Нахабино» винтового компрессорного агрегата 21А410-7-3 с маслоохладителем МОХ 36-300-1,5

теплообмена, поддерживать малое сопротивление по маслу и воде, несмотря на значительные отложения водяного камня.

В результате исследовательских и опытно-конструкторских работ создан теплообменный аппарат – маслоохладитель, не уступающий по массогабаритным показателям зарубежным образцам. Конструкция теплообменных элементов имеет потенциальную возможность для дальнейшего повышения эффективности. Исследования в этом направлении продолжаются.

Конструкция теплообменных элементов позволяет компоновать аппараты не только по кожухотрубной схеме, но и непосредственно как «труба в трубе», что расширяет их функциональные возможности. Применение аппаратов не ограничивается функцией маслоохладителя, но их можно использовать также при других различных сочетаниях жидких и газообразных сред (например, вода-фреон – получение «ледяной» воды, вода-воздух – концевые холодильники компрессоров и т.д.).

В настоящее время НПФ "Химхолодсервис" оснащает маслоохладителями МОХ аммиачные и фреоновые винтовые холодильные агрегаты и машины, выпускаемые на производственной базе Нахабино.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *А.с.* №1702146 СССР.

2. *Исаченко В.И., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача.– М.: Энергия, 1975.

125422, Москва, ул. Костякова, 12, офис 96.
Тел.: (095) 210-80-19, 210-45-11,
976-48-04, 210-53-11.
Факс: (095) 976-30-60.

Соленоидные вентили EVR DANFOSS

Постоянная проверка на всех стадиях изготовления обеспечивает непревзойденное качество
Каждый вентиль тестируется на герметичность и соответствие электропараметрам

Только лучшие, 100% протестированные материалы используются при производстве, что обеспечивает каждому вентилю способность проработать как минимум 300.000 рабочих циклов

Сделаны по мировым стандартам

- Полный номенклатурный ряд соленоидных клапанов для холодильных, морозильных установок и систем кондиционирования воздуха
- Подходят для всех хладагентов
- Имеют легко заменяемые детали

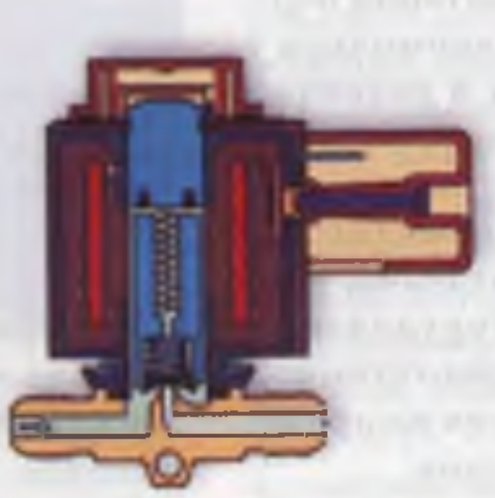
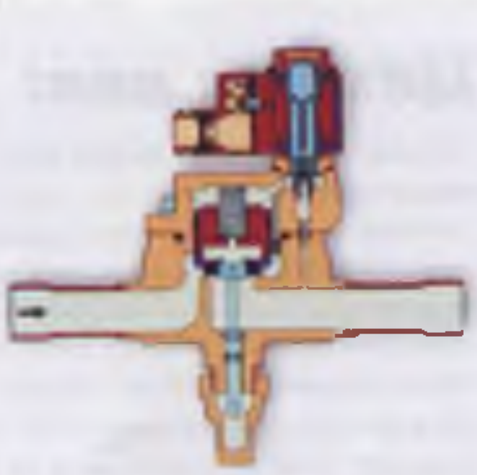
Холодильная техника и кондиционирование воздуха

Больше, чем Вы ожидаете

Соленоидные вентили EVR

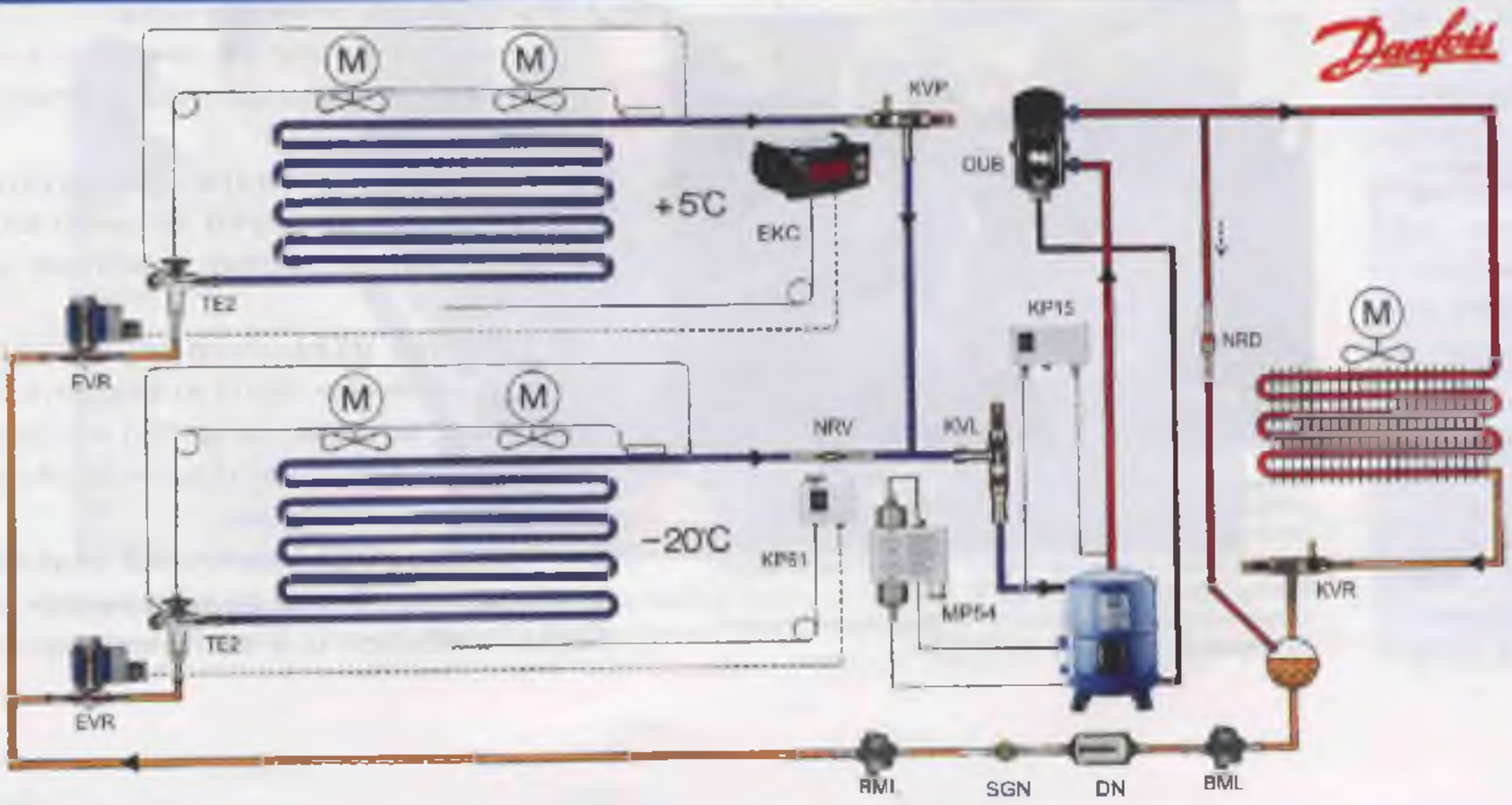
Вентили

- Вентили с размером штуцеров:
  - под отбортовку – от ¼ дюйма (6 мм) до ⅝ дюйма (16 мм)
  - под пайку – от ¼ дюйма (6 мм) до 2 ⅛ дюйма (54 мм)
- Вентили с негабаритными штуцерами и ручным открытием
- Нормально закрытые (NC) и нормально открытые (NO) вентили
- Компактные вентили
- Вентили с удлиненной хвостовой частью, что дает возможность устанавливать их без разборки
- Вентили с максимальным рабочим перепадом давления до 21 бар
- Данные вентили разрешены для применения во многих странах

		
EVR 2-3 вентили прямого действия	EVR 6 - 22 мембранные вентили с сервоприводом	EVR 25 - 40 поршневые вентили с сервоприводом

Катушки

- Катушки с широкой областью применения
- Катушки для переменного и постоянного тока
- Катушки с трехжильным кабелем, клеммной коробкой (класс защиты корпуса IP67) или штепсельным разъемом DIN
- Стандартные катушки с напряжением питания от 12 до 420 В



EVR - соленоидный клапан
TE2- терморегулирующий вентиль
BML - запорный вентиль
SGN - индикатор влажности
DN - фильтр–осушитель
KVP - регулятор давления испарения
KVL - регулятор давления в картере
OUB - маслоотделитель
NRD+KVR - регулятор давления конденсации
EKC - электронный контроллер температуры
KP61 - термостат
MP54 - дифференциальное реле давления
NRV - обратный клапан
KP15 - сдвоенное реле давления

СЕРВИС•ЦЕНТР BITZER РОССИЯ
СЕРВИС•ЦЕНТР Alfa Laval РОССИЯ

Автономный прибор для регистрации температуры

Фирма «Эйркул» представляет новую серию приборов ACC-003TR для автоматической регистрации температуры

Одним из основных факторов, определяющих качество и товарный вид продуктов, является соблюдение требуемого температурного режима при их транспортировке и хранении. Поэтому во время всего цикла доставки продукта от производителя к потребителю необходимо постоянно осуществлять контроль температуры, особенно при поступлении продуктов на склад после транспортировки, чтобы узнать их "предысторию", т. е. возможные нарушения температурного режима при транспортировке, и определить скрытый брак.

Основываясь на большом опыте применения электронных блоков управления и мониторинга в щитах управления холодильными установками, фирма "Эйркул" предлагает прибор ACC-003TR собственного производства для автоматической регистрации температуры.

Прибор предназначен для мониторинга температуры в холодильных камерах, прилавках, витринах и других потребителях холода, а также при транспортировке свежих скоропортящихся и замороженных продуктов железнодорожным и автомобильным рефрижераторным транспортом. Он является альтернативой известным приборам Data Logger DLT 1 итальянской фирмы Eliwell и традиционным самопишущим приборам.

Основные технические характеристики прибора ACC-003 TR

Диапазон измеряемых температур, °С	–50...+50
Точность измерений, °С	+/–0,5
Частота измерений, мин	1...255
Часы реального времени с точностью, мин/мес	+/–2
Габаритные размеры, мм	40×55×25

Каждый прибор имеет уникальный идентификационный номер, гарантирующий защиту от фальсификации данных измерений. Прибор регистрирует значения температуры в реальном масштабе времени. Число накапливаемых измерений в энергонезависимой памяти прибора не менее 2048, что позволяет сохранять серию измерений в течение года (при периодичности измерений 255 мин). Срок автономной работы прибора составляет 10 лет. Прибор не требует дополнительных источников питания.

В комплект поставки прибора входят считыватель (адаптер COM или LPT порта компьютера) и дистрибутивная дискета для установки управляющей программы. Установка режимов работы и считывание данных измерений обеспечиваются программным способом на любом персональном компьютере с управляющей операционной системой Windows 95/98/NT.

Программное обеспечение прибора позволяет производить гибкую пошаговую настройку режимов работы прибора, считывание и сохранение данных измерений, а также представление их в графическом и документном виде. Программа реализует возможности операционной системы Windows и позволяет легко импортировать и внедрять данные регистратора в другие приложения (MS Word, MS Exel и т.д.).

Модификация основного прибора – ACC-003TR-S – имеет встроенный сетевой интерфейс для работы в составе распределенных систем мониторинга температуры.

Фирма «Эйркул» разрабатывает и устанавливает специализированное программное обеспечение под конкретные задачи заказчика.

Из Бюллетеня МИХ

ПРИМЕНЕНИЕ И АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ВОСПЛАМЕНЯЕМЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

Это одна из статей, отражающих результаты исследований в рамках Европейского проекта по замене гидрохлорфторуглеродов, имеющих низкую озоноразрушающую активность. В ней рассматриваются аспекты безопасности воспламеняемых хладагентов, в частности их надежность для больших и малых холодильных установок. Для транспортных средств в качестве хладагента рекомендуется пропан. Определены мероприятия по снижению риска использования таких хладагентов.

Verwoerd M., Gerwen R.J.M.//Koude Luchtbehandeling, NL., 1996.07, vol.89, № 7, pp.44–49.
БМИХ, 1997, № 3, с.52.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ЗАМЕНА R22

Пока не существует однокомпонентных заменителей хладагентов, которые обладали бы всеми преимуществами хладагентов CFC и HCFC. Маловероятно также, что будут открыты новые хладагенты, обладающие этими свойствами. Поэтому во многих случаях можно использовать смеси, позволяющие получить почти все преимущества прежних хладагентов. В статье обсуждаются вопросы целесообразности использования смесей, и в частности рассматривается замена R22 альтернативным хладагентом с нулевым потенциалом разрушения слоя озона и совместимого со смазочными веществами. Приведены значения давлений, соответствующие повышенным температурам конденсации смеси, но и их величина ниже, чем у R22, при той же температуре. Приведены результаты ряда калориметрических испытаний, подтверждающие, что холодопроизводительность смеси аналогична холодопроизводительности R22, а холодильный коэффициент смеси выше по сравнению с R22. Смесь нетоксична и невоспламеняема.

Roberts N.A., Pearson S.F.//Pap. 1996 int. Compressor Eng. Conf., Purdue, US, 1996.07.23–26, 6 p.
БМИХ, 1997, № 3, с.53.

АММИАК, R22 И НОВЫЕ ХЛАДАГЕНТЫ

Рассматриваются положительные стороны и недостатки использования аммиака по сравнению с другими хладагентами в различных холодильных системах. Основными преимуществами аммиака являются: низкая молекулярная масса, хорошие термодинамические и теплопередающие свойства, растворимость в воде, низкая стоимость, озонобезопасность. Неблагоприятные свойства аммиака: токсичность, умеренная воспламеняемость и несовместимость с цинком, медью и их сплавами. Обсуждаются некоторые новые возможности использования аммиака в холодильных установках.

Cavallini A.//Proc. Ammoniac Actual. Conf., Paris, FR., 1996.09.27, pp.5–18.
БМИХ, 1997, № 3, с.54.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АММИАКА В СКАНДИНАВСКИХ СТРАНАХ

Аммиак используется в качестве хладагента в Скандинавских странах более 100 лет. Традиционно аммиак используется на молочных, пивоваренных предприятиях, бойнях и на других предприятиях пищевой промышленности. Правила использования аммиака в этих системах устарели, за исключением, вероятно, Швеции. В статье приводится обзор современного состояния и возможных изменений в области нормирования и создания новых правил по использованию аммиака в качестве хладагента. Рассматривается несколько несчастных случаев при использовании аммиака как хладагента.

Danig P.O.//Proc. Ammoniac Actual. Conf., Paris, FR., 1996.09.27, pp.19–26.
БМИХ, 1997, № 3, с.58.

ВЛИЯНИЕ МАСЛА НА ТЕПЛООТДАЧУ ПРИ КИПЕНИИ ХЛАДАГЕНТА

Определяли коэффициент теплоотдачи при кипении жидкого хладагента, содержащего масло. Жидкость стекала в виде пленки по горизонтальной нагреваемой поверхности, а пар проходил в верхней части прямоугольного канала при различных скоростях потока жидкости. Изменяли приток теплоты и содержание масла. Установили, что снижение коэффициента теплоотдачи с ростом содержания масла связано главным образом со снижением пузырькового парообразования на поверхности.

Matsunaga T., Yoshida S., Mori R., Yonemaru A.//Trans. JAR, JP., 1996, vol.13, № 2, pp.199–205.
БМИХ, 1997, № 3, с.62.

ИСПЫТАНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ НА СТЕНДЕ «С ГАЗОВЫМ КОЛЬЦОМ» БЕЗ КОНДЕНСАЦИИ ХЛАДАГЕНТА

Приведены методика, конструкция стенда и результаты испытаний холодильных компрессоров в целях определения их холодопроизводительности. Основными элементами установки являются: испытываемый компрессор, теплообменник с водяным охлаждением, терморегулирующий вентиль и ресивер для хладагента. Преимущества «газового кольца»: малая зарядка системы стенда хладагентом, низкие потребление энергии и тепловая инерционность.

Dirlea R., Hannay J., Lebrun J.//Proc. 1996 int. Compressor Eng. Conf. Purdue Univ, US, 1996.07.23–26, vol. 1, pp. 241–246.
БМИХ, 1997, № 3, с.66.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОХОДА В НАГНЕТАТЕЛЬНОМ КЛАПАНЕ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА КОМПЬЮТЕРЕ

Результаты моделирования работы клапана на компьютере указывают на

то, что увеличение площади прохода всегда соответственно снижает потери энергии в клапане и таким образом способствует повышению КПД компрессора. Однако в поршневых компрессорах большее увеличение площади прохода связано с ростом объема мертвого пространства, что оказывает неблагоприятное влияние на КПД. Поэтому изменение площади прохода может иногда привести к неожиданному результату.

В статье предложена методика определения оптимальной площади, которая уравновешивает эти два противорсчащих фактора посредством разработанной программы моделирования на компьютере.

Zhou W., Kim.J.//Proc. 1996 int. Compressor Eng. Conf., Purdue Univ., US, 1996.07.23–26, vol.1, pp.37–41.
БМИХ, 1997, № 3, с.67.

РАБОТА СПИРАЛЬНОГО КОМПРЕССОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВПРЫСКА И ОТДЕЛЕНИЯ МАСЛА

В полость сжатия спирального компрессора мощностью 2 кВт впрыскивали различное количество масла. При испытаниях как в стационарном, так и при переходном режиме определяли рабочие характеристики компрессора и его шум. Результаты испытаний показывают, что при работе с низкой степенью сжатия на потери в результате перетечек влияет нагрев деталей. При средней степени сжатия потери в результате перетечек минимальны и связаны с качеством изготовления деталей (допусками при обработке и местными деформациями). При высокой степени сжатия перетечки возрастают. Существует оптимальная величина циркуляции масла, которая соответствует значительному повышению рабочего КПД и снижению шума. Обе характеристики в значительной мере зависят от степени сжатия.

Drost R.T., Deblois R.L.//Proc. 1996 int. Compressor Eng. Conf., Purdue Univ., US, 1996.07.23–26, vol.1, pp.320–334.
БМИХ, 1997, № 3, с.67.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАСЛОЗАПОЛНЕННОГО РОТАЦИОННОГО КОМПРЕССОРА С КАТЯЩИМСЯ ПОРШНЕМ

Для того чтобы установить общие характеристики компрессора, проводили опыты при различных условиях работы. Анализировали влияние давления нагнетания, скорости вращения ротора и впрыска масла на КПД компрессора.

Hongqui L., Guangxi J.//Proc. 1996 int. Compressor Eng. Conf., Purdue Univ., US, 1996.07.23–26, vol.1, pp.347–352.
БМИХ, 1997, № 3, с.68.

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЖАТИЯ ВЛАЖНОГО ПАРА ХЛАДАГЕНТА

Проведено теоретическое изучение характеристик сжатия двухфазной смеси хладагента жидкость–пар путем использования математической модели с учетом размеров капель жидкости. Рассматривается понятие «гидравлического удара» жидкости. Были проведены опыты с использованием поршневого компрессора, всасывающего жидкость. Результаты моделирования, учитывающие гомогенность смеси жидкость–пар и размеры капельки жидкости, хорошо согласуются с результатами опытов.

Dutta A.K., Yanagisawa T., Fukuta M.// Proc. 1996 int. Compressor Eng., Conf., Purdue Univ., US, 1996.07.23–26, vol.1, pp.235–240.
БМИХ, 1997, № 3, с.69.

РАЗРАБОТКА И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕРМЕТИЧНОГО КОМПРЕССОРА, РАБОТАЮЩЕГО НА CO_2

Создан небольшой герметичный поршневой компрессор для сжатия диоксида углерода (CO_2). Компрессор может сжимать газообразный CO_2 от давления 3 до 13 МПа в одной ступени. Характеристики определяли на специальном стенде, рассчитанном на максимальное давление 14 МПа. Опыты проводили в диапазоне изменений степени сжатия, типичной для компрессоров, работающих на CO_2. Энергетическая эффективность опытного образца компрессора является обнадеживающей.

Fagerli B.E.//Proc. 1996 int. Compressor Eng. Conf., Purdue Univ., US, 1996.07.23–26, vol.1, pp.229–234.
БМИХ, 1997, № 3, с.70.

НЕБОЛЬШИЕ ГЕРМЕТИЧНЫЕ ПОРШНЕВЫЕ КОМПРЕССОРЫ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ДЛЯ ДОМАШНИХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ

Описываются теоретические и экспериментальные исследования некоторых основных характеристик небольшого герметичного поршневого компрессора, предназначенного для домашних холодильников. Обсуждается влияние скорости вращения вала на характеристики компрессора. Основное внимание уделяется конструкции клапанов и внутренним тепловым потокам. Рассматриваются результаты экспериментов и дальнейшие планы совершенствования конструкции.

Rasmussen B.D.//Proc. 1996 int. Compressor Eng., Conf., Purdue Univ., US, 1996.07.23–26, vol.1, pp.49–54.
БМИХ, 1997, № 3, с.70.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РОТАЦИОННЫХ И СПИРАЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ, РАБОТАЮЩИХ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ R22 ХЛАДАГЕНТАХ

Теоретически рассчитана и подтверждена экспериментально эффективность компрессоров, предназначенных для работы на альтернативных хладагентах. Верхний предел холодопроизводительности, при которой эффективность (холодильный коэффициент) ротационного компрессора выше, чем у спирального, составляет 2344 Вт при работе на R22 и R407C. При работе на R410A эффективность ротационного компрессора выше, чем у спирального. Результаты исследований показывают, что в агрегатированных кондиционерах небольшой холодопроизводительности, работающих на R410A, диапазон более эффективной работы ротационных компрессоров может быть расширен.

Kato T., Shirafuji Y., Kawaguchi S.//Proc. 1996 int. Compressor Eng., Conf., Purdue Univ., US, 1996.07.23–26, vol.1, pp.69–75.
БМИХ, 1997, № 3, с. 70.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОМПРЕССОРА ДОМАШНЕГО ХОЛОДИЛЬНИКА, РАБОТАЮЩЕГО НА R134a

Надежность длительной эксплуатации домашнего холодильника на R134a зависит главным образом от смазки движущихся частей компрессора и засорения капиллярной трубки. Для улучшения надежности работы компрессора проводили оценку смазочных масел, конструкционных металлических материалов и изоляции электродвигателя.

Iizuka T., Ishiyama A., Hata H., Sato K.// Proc. 1996 int. Compressor Eng., Conf., Purdue Univ., US, 1996.07.23–26, vol.1, pp.275–280.
БМИХ, 1997, № 3, с.72.